

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2013

PAVEL PYŠKO

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Řešení zkratových poměrů v průmyslovém podniku.**  
Solving of Short Circuit Conditions in Industrial Company.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Pyško**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Řešení zkratových poměrů v průmyslovém podniku**  
**Solving of Short Circuit Conditions in Industrial Company**

Zásady pro vypracování:

1. Problematika napájení průmyslových objektů
2. Teorie výpočtu zkratových poměrů
3. Popis provozních variant zapojení sítě průmyslového podniku
4. Výpočet zkratových poměrů na rozvodnách 22 kV
5. Výpočet zkratových poměrů na hlavních rozvodnách 6 kV a 3 kV
6. Kontrola zařízení z hlediska účinků zkratového proudu

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Trojánek Z., Hájek J., Kvasnica P.: Přechodové jevy v elektrizačních soustavách, SNTL, Praha, 1987
2. Hradílek Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB-TUO, Ostrava, 1992 a 1993
3. Normy ČSN
4. Další literatura podle pokynů vedoucího diplomové práce

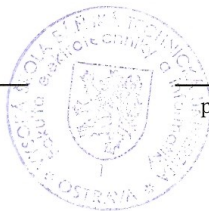
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto Diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ostrava.....16.7.2013.....

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'M' followed by a horizontal line and a small flourish.

.....  
podpis

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Petru Krejčímu Ph.D. za zájem, čas, vstřícnost, trpělivost a rady při zpracovávání této diplomové práce a také děkuji Ing. Marku Tinkovi Ph.D. za poskytnutí potřebných materiálů, za rady, čas a trpělivost.

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

Ostrava .....

.....

podpis

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá výpočty zkratových poměrů v rozvodné síti vysokého napětí pro rozvodny 22kV, 6kV a 3kV, které jsou součástí průmyslového podniku.

Tato práce obsahuje teoretickou část, která se zabývá zkraty s jejich důsledky a teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů v tomto průmyslovém podniku.

Dále pak obsahuje část praktickou, ve které jsou počítány výsledné impedance a následně zkratové proudy a výkony pomocí nakreslených náhradních schématů. Vše je počítáno pro osm variant zapojení sítě.

V poslední části jsou zkontrolovány účinky zkratových proudů na povolené oteplení vodičů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zkrat, zkratový proud, zkratový výkon, zkratové impedance, ekvivalentní oteplovací proud, rozvodna, transformátor, přípojnice, motor, generátor, reaktor, průmyslová síť

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the calculation of short-circuit conditions for the 22kV, 6 kV and 3 kV substation. Those are usually part of company assessment.

Theoretical part, which deals with general description of short-circuits and their consequences is followed by analysis of calculating short-circuit conditions.

The next chapter includes a practical part where short-circuit impedance, current and power are calculated based on attached substitute schemas. The calculations are done for eight different kinds of wiring networks.

In the last part there the impact of short-circuit currents on allowed wire warming is investigated.

## **KEYWORDS**

Short-circuit, short-circuit current, output short circuit, short-circuit impedance, thermal equivalent short-circuit current, electrical substations, transformer, wiring, engine, generator, reactor, Electric-power transmission

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>K</b>	Koeficient určení minimálního průřezu vodičů podle oteplení při zkratu
<b><math>I_{th}</math></b>	ekvivalentní oteplovací zkratový proud [kA]
<b>nn</b>	nízké napětí
<b>vn</b>	vysoké napětí
<b>vvn</b>	velmi vysoké napětí
<b><math>S_k</math></b>	zkratový výkon soustavy [MVA]
<b><math>S''_{k3}</math></b>	počáteční souměrný rázový zkratový výkon [MVA]
<b><math>U_n</math></b>	jmenovité napětí v místě zkratu [V]
<b><math>I''_{k3}</math></b>	počáteční souměrný rázový zkratový proud [kA]
<b><math>Z_{(l)}</math></b>	sousledná impedance zkratového obvodu [ $\Omega$ ]
<b>c</b>	napěťový součinitel
<b><math>i_p</math></b>	nárazový zkratový proud [kA]



# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>1 PROBLEMATIKA NAPÁJENÍ PRŮMYSLOVÝCH OBJEKTŮ .....</b>	<b>14</b>
1.1 Provozní spolehlivost.....	14
1.2 Elektrizační soustava .....	15
1.3 Rozvodná zařízení.....	16
1.4 Transformátory .....	17
1.5 Umístění transformátorů a rozvaděčů .....	18
1.6 Požadavky na elektrické rozvody a zařízení .....	19
<b>2 ZKRATY .....</b>	<b>21</b>
2.1 Druhy zkratu .....	21
2.2 Průběh zkratového proudu .....	22
2.3 Trojfázový zkrat napájený ideálním napěťovým zdrojem .....	22
2.4 Důsledky zkratů .....	23
2.4.1 Druhy nepříznivých jevů při zkratech .....	24
2.4.2 Elektrický oblouk.....	24
2.5 Reaktory.....	27
<b>3 TORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTŮ ZKRATOVÝCH POMĚRŮ DLE ČSN EN 60909 .....</b>	<b>28</b>
3.1 Postup výpočtu.....	28
3.2 Předpoklady výpočtu .....	28
3.2.1 Maximální zkratové proudy .....	29
3.2.2 Minimální zkratový proud .....	29
<b>4 POPIS PROVOZNÍCH VARIANT ZAPOJENÍ SÍTĚ PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU.....</b>	<b>31</b>
4.1 Varianta č.1a – T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	31
4.1.1 Popis zapojení s T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	31
4.2 Varianta č.1b – T201, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	32
4.2.1 Popis zapojení s T201, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	33
4.3 Varianta č.2a – T201, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	34

4.3.1	Popis zapojení s T201, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	34
4.4	Varianta č.2b – T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	35
4.4.1	Popis zapojení s T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	35
4.5	Varianta č.3a – T202, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	36
4.5.1	Popis zapojení s T202, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	36
4.6	Varianta č.3b – T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	37
4.6.1	Popis zapojení s T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	38
4.7	Varianta č.4a – T202, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	39
4.7.1	Popis zapojení s T202, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	39
4.8	Varianta č.4b – T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	40
4.8.1	Popis zapojení s T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	40
<b>5</b>	<b>VÝPOČTY PŘÍSPĚVKŮ MOTORŮ NA ROZVODNY .....</b>	<b>42</b>
5.1	Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R6.1 - Stará rozvodna“ .....	42
5.2	Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R6.1 - Irodel“ .....	44
5.3	Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R3.1 - Stará rozvodna“ .....	45
<b>6</b>	<b>MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÉ POMĚRY NA ROZVODNÁCH .....</b>	<b>46</b>
6.1	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.1a ....	46
6.1.1	Příklad výpočtů maximálních zkratových poměrů na rozvodně „R 22.00 - Vstupní rozvodna“ .....	46
6.1.2	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R 5 - Teplárna“ .....	57
6.1.3	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R 6 - Teplárna“ .....	58
6.1.4	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.1-Stará rozvodna“ .....	59
6.1.5	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.3-Sandvik“ .....	60
6.1.6	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.4-Assel“ .....	61
6.1.7	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.2-Lisovna.....	62
6.1.8	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.7-ČOV .....	63
6.1.9	Maximální zkratové poměry na rozvodně „Slévárna“ .....	64
6.1.10	Maximální zkratové poměry na rozvodně „Železářny-R1“ .....	65
6.1.11	Maximální zkratové poměry na rozvodně „Železářny-R2“ .....	66
6.1.12	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R3.1-Stará rozvodna“ .....	67
6.1.13	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.1-Stará rozvodna“ .....	68

6.1.14	Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.1-Irodel“ .....	69
6.2	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.1b....	70
6.3	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.2a ....	70
6.4	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.2b....	71
6.5	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.3a ....	71
6.6	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.3b....	72
6.7	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.4a ....	73
6.8	Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.4b....	73
<b>7</b>	<b>MINIMÁLNÍ ZKRATOVÉ POMĚRY NA ROZVODNÁCH .....</b>	<b>75</b>
7.1	Výpočet minimálních zkratových poměrů podle varianty zapojení č.1a.....	75
7.1.1	Příklad výpočtů minimálních zkratových poměrů na rozvodně „R 22.2 - Lisovna“	75
7.1.2	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.0 - Vstupní rozvodna“ .....	77
7.1.3	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R5 - Teplárna“ .....	78
7.1.4	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6 - Teplárna“ .....	79
7.1.5	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.1 – Stará rozvodna“ .....	80
7.1.6	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.3 - Sandvik“ .....	81
7.1.7	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.4 - Assel“ .....	82
7.1.8	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.7 - ČOV“ .....	83
7.1.9	Minimální zkratové poměry na rozvodně „Slévárna“ .....	84
7.1.10	Minimální zkratové poměry na rozvodně „Železářny - R1“ .....	85
7.1.11	Minimální zkratové poměry na rozvodně „Železářny – R2“ .....	86
7.1.12	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R3.1 – Stará rozvodna“ .....	87
7.1.13	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.1 – Stará rozvodna“ .....	88
7.1.14	Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.1 - Irodel“ .....	89
<b>8</b>	<b>KONTROLA ZAŘÍZENÍ Z HLEDISKA ÚČINKŮ ZKRATOVÉHO PROUDU</b>	<b>90</b>
8.1	Kontrola kabelů na dovolené oteplení při zkratu .....	90
8.2	Příklad výpočtů .....	91
8.2.1	Vypočtené hodnoty .....	92
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>94</b>

<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>95</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>98</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>99</b>

## ÚVOD

Elektrická energie je právem považována za nejušlechtlejší energii, kterou člověk vyrábí a dále využívá. Je to především z důvodů, že tuto energii lze vyrábět z různých primárních energetických zdrojů, tuto vyrobenou elektrickou energii lze poměrně snadno přenášet na velké vzdálenosti a lze ji přeměňovat na různé jiné druhy energií, např. na teplo, světlo, pohybovou energii atd.. Dnešní svět by si už asi nikdo bez elektrické energie nedokázal představit a ani by už ani svět bez ní nedokázal existovat.

Elektrizační soustava ES v České republice se skládá ze třech základních částí. Jednak z části výrobní, kde se elektrická energie vyrábí z jiných primárních energií, tedy elektrárny všeho druhu, jednak z přenosné a rozvodné soustavy, díky které se elektrická energie dostane na požadované místo, jakkoli vzdálené od místa výroby a jednak ze spotřebičů elektrické energie, tedy z místa, kde se elektřina spotřebovává jak k běžnému životu lidí, nebo k nejrůznějším oblastem výroby, tedy továren a nejrůznějších průmyslových podniků.

Tato diplomová práce se zabývá tou poslední částí elektrizační soustavy a to výpočtem zkratových poměrů v daném průmyslovém podniku.

# 1 PROBLEMATIKA NAPÁJENÍ PRŮMYSLOVÝCH OBJEKTŮ

## 1.1 Provozní spolehlivost

Pod pojmem provozní spolehlivost silnoprůdého elektrického zařízení rozumíme schopnost určeného zařízení přenést a předat elektrickou energii v potřebném množství a kvalitě na dané místo a v daném čase. Tomuto požadavku je nutné přizpůsobit provedení elektrického silnoprůdého rozvodu a přístrojového vybavení. Pro některé případy je nutné zvláštní provedení rozvodu s ohledem na dodávku energie důležitým spotřebičům i záložním nezávislým zdrojům elektrické energie. Rozeznáváme tři druhy stupně důležitosti spotřeby.

### Spotřeba 1. stupně důležitosti

Mezi spotřebiče 1. stupně důležitosti patří zejména spotřebiče nebo skupiny spotřebičů u kterých by v případě výpadku napájení mohlo nastat ohrožení zdraví nebo dokonce života nebo u takových spotřebičů u kterých by při výpadku došlo k velkým ekonomickým ztrátám, například narušení nebo zničení technologického procesu. Pro takovéto spotřebiče je nezbytné zajištění rezervního zdroje, nezávislého na pracovním zdroji. Mezi nezávislé zdroje řadíme druhý silový transformátor napájený dalším vedením z nadřazené elektrizační soustavy (vvn). Příkladem spotřebičů 1. stupně důležitosti je například nemocnice s nepřetržitým provozem, tavicí pec, důlní zařízení nebo zařízení na zpracování dat.

### Spotřeba 2. stupně důležitosti

U spotřebičů druhého stupně není tak zásadní nepřetržitost dodávky elektrické energie. Při výpadku nedochází k ohrožení života či zdraví a k větším ekonomickým škodám v důsledku vážného poškození zařízení. Výpadek napájení se projeví zastavením výroby. U těchto spotřebičů je třeba dodávku elektrické energie pokud možno zajistit ale nevyžadují se zvláštní zařízení nebo náhradní napájení. Mezi takovéto spotřebiče patří například obráběcí stroje, různé průmyslové provozy.

### Spotřeba 3. stupně důležitosti

Mezi tyto spotřebiče patří všechny ostatní spotřeby a odběry, u kterých není nutná dodávka elektrické energie zajišťována zvláštními opatřeními. Do toho stupně důležitosti patří například domácnosti, školy, úřady.

V průmyslových závodech je běžně více zařízení o různých stupních důležitosti. Záskokový nebo náhradní zdroj se pak dimenzuje pouze na pokrytí spotřebičů prvního stupně důležitosti a tomu musí odpovídat návrh rozvodného zařízení. [1]

## **1.2 Elektrizační soustava**

Elektrizační soustava se skládá z částí, kde se vyrábí, tedy elektráren všeho druhu, dále je vedena po přenosové soustavě a rozvodné soustavě a vede až ke konečným spotřebitelům této energie.

Elektroenergetika se především zabývá částí výroby elektrické energie, soustavou elektrických sítí a rozvodných energetických zařízení a užitím této energie v distribuci a v průmyslu. [2]

Rostoucí výkony zdrojů elektrické energie přinášejí řadu problémů, například růst zkratových proudů. Zatímco se v soustavách vn a nn zajímáme především o jmenovité a zkratové proudy, v soustavách nn hlavně o dovozené odchylky napětí, v soustavách vvn a zvn nás především zajímá problém stability přenosu elektrické energie, izolační problémy a otázky ochrany životního prostředí. [2]

Elektrizační soustava musí nejvhodnějším způsobem splňovat tyto požadavky:

- bezpečnost osob
- zajišťovat dostatečnou, spolehlivou a kvalitní dodávku elektrické energie spotřebitelům
- snižovat náročnost prací v provozu a v údržbě
- mít vysokou účinnost
- pracovat s vyššími parametry a s větším počtem zdrojů a elektrických stanic
- využívat odpadní teplo
- umožňovat řízení odběru elektrické energie
- být materiálově nenáročná
- zabraňovat nepříznivým vlivům soustavy na okolí a na životní prostředí

Elektrizační soustavy jsou tvořeny jednotlivými zdroji, elektrickými stanicemi a sítěmi [3]

## 1.3 Rozvodná zařízení

Tato zařízení se vyskytují v průmyslovém rozvodu ve všech úrovních napětí. Jsou umístěny v různých místech rozvodu. Prioritní vliv na vybavení rozvodných zařízení má především způsob jejich provozu:

- a) s trvalou obsluhou
- b) bez obsluhy, avšak s trvalým dozorem
- c) bez obsluhy, s dálkovým ovládáním

V průmyslovém rozvodu se rozvodná zařízení vyskytují buď jako součást elektrických stanic (tj. transformoven, spínacích stanic nebo měníren), nebo jako samostatné části rozvodu.

Rozvodná zařízení vysokého napětí VN a velmi vysokého napětí VVN musí obvykle být doplněna pomocnými zařízeními pro signalizaci, měření, jištění a ovládání (stejnoseměrný proud, výroba a rozvod stlačeného vzduchu).

Rozvodná zařízení nízkého napětí NN další pomocná zařízení, až na výjimky, obvykle nepotřebují.

Hlavní funkcí rozvodných zařízení je rozdělovat přivedenou elektrickou energii na stejné napěťové úrovni do několika větví. K tomu účelu jsou vybavena jedním nebo více systémy přípojníc, na které jsou připojeny vývody a napájecí vedení. Přívody a vývody tzv. hlavní odbočky jsou v rozvodném zařízení vybaveny přístroji, které umožňují připojování a odpojování vedení, jejich jištění před účinky přetížení, zkratů, přepětí, podpětí, jejich měření, ovládání a signalizaci stavu hlavních přístrojů. [10]

Podle konstrukce a způsobu montáže rozvodná zařízení dělíme na:

- rozvodny** - montované a zkoušené na místě užití, nutné stavební úpravy (VN, VVN),
- rozvaděče** - přístroje i nosná konstrukce tvoří celek, montáž a zkoušení je ve výrobním závodě (NN, VN),
- rozvodnice** - zařízení nn malého rozsahu, např. rozvodná nebo elektroměrová deska atd.

Rozvodná zařízení ZVN a VVN se dosud zřizují jako venkovní rozvodny, u nichž jsou přípojnice a všechny přístroje a spoje v hlavních obvodech odboček umístěny pod širým nebem na ocelových nebo železobetonových konstrukcích a betonových základech. Uspořádání polí rozvoden



je silně závislé na zaústění přívodů a vývodů, provedených obvykle venkovními vedeními. V případě zvláště silného znečištění ovzduší v místě budované rozvodny se zřizují rozvodny ZVN a VVN vnitřní se stejným vybavením jako u rozvodů venkovních.

Dokonalou ochranou před vlivy okolního prostředí a současně výrazné zmenšení požadavků na prostor a plochu představují zapouzdřené rozvaděče ZVN a VVN s izolací SF<sub>6</sub>. Rozvodny VN jsou venkovní nebo většinou kobkové. Umožňují realizaci schématu s několika systémy hlavních přípojníc, případně i s pomocnou přípojnící. Používají se ve vstupních (hlavních) transformovnách a spínacích stanicích. V současné době se vyrábějí také tzv. v uzavřeném provedení s pevnou izolací živých částí, s výsuvným vypínačem, složené z několika funkčních celků. Rozvodná zařízení NN jsou dnes prováděna vesměs jako rozvaděče. Obsahují obvykle v každém poli několik vývodů. Přívody bývají v samostatných polích. [4]

## 1.4 Transformátory

Transformátory jsou v elektroenergetice nezastupitelným strojem ve střídavém rozvodu energie, pomocí nichž transformujeme napětí na potřebnou hladinu pro dálkový přenos nebo místní rozvod elektrické energie. Tyto transformátory v elektroenergetice rozdělujeme do tří základních skupin :

- hlavní transformátory
- blokové transformátory
- spojovací transformátory
- transformátory pro vlastní spotřebu
- síťové transformátory

### Hlavní transformátory

Hlavní transformátory jsou buď čistě blokové - spojené přímo s alternátorem a nebo spojovací – spojující soustavy dvou napětí. Blokového uspořádání se používá na velkých tepelných kondenzačních elektrárnách, jaderných elektrárnách a některých vodních elektrárnách, předávají celý svůj výkon do elektrizační soustavy. Spojovacích transformátorů se používá v elektrárnách s odběrem na generátorovém napětí, jako jsou teplárny, závodní elektrárny a některé vodní elektrárny. [10]

## Blokové transformátory

Výkon těchto transformátorů je podle výkonu alternátoru. Počet blokových transformátorů bývá převážně stejný jako počet alternátorů. Používají se trojfázové transformátory. Při jednofázových lze použít pro bloky velkých výkonů (sta MVA).

## Spojovací transformátory

Volba počtu a výkonu transformátorů se provádí na podle porovnání odběru z generátorových přípojníc a instalovaného výkonu elektrárny. Výkon těchto transformátorů je takový, aby přenesly přebytečný nebo nedostávající se výkon na generátorových přípojnících při normálním zatížení alternátorů i přípojníc.

## Transformátory pro vlastní spotřebu

Správný chod technologické části každé elektrárny zajišťují pomocná zařízení, která mají převážně elektrický pohon. Všechna tato zařízení tvoří tzv. vlastní spotřebu. Výkon pracovních zdrojů vlastní spotřeby se počítá součtem příkonů všech spotřebičů, které musí být v chodu při maximálním výkonu hlavního bloku. U jaderných elektráren je výkon pracovního zdroje zvolen tak, aby byl zajištěn normální provoz jednoho elektrického bloku i havarijní odstavení. Výkon rezervního zdroje vlastní spotřeby pro klasické tepelné elektrárny se určí tak, aby současně zajistil normální chod vlastní spotřeby jednoho elektrárenského bloku, chod naprázdno (doběh) dalšího bloku a pokryla 50% odběru připojeného na společnou rozvodnu. [10]

## Síťové transformátory

Jádra i vinutí velkých síťových transformátorů jsou chlazená olejem. Drobné síťové transformátory s převodem 6kV/NN jsou vzduchové a to pro výkony 800 až 1600 kVA. Výkony síťových transformátorů mohou být i větší než u transformátorů blokových, ale rozdíly napětí mezi vstupním a výstupním napětím bývají menší. Uzlové body těchto transformátorů se vyvádějí tak, aby se v síti VVN mohly přímo uzemnit, kdežto v síti VN se musí vyvést se zesílenou izolací pro připojení kompenzačního zařízení. [10]

## 1.5 Umístění transformátorů a rozvaděčů

Malé průmyslové závody napájené transformátory 2x1 MVA, mají pouze jednu transformovnu VN/NN. Středně velké průmyslové závody s příkonem nad 2 MVA mají obvykle hlavní a vstupní transformovnu společnou. Velké průmyslové závody mají vstupní transformovnu umístěnou v

nejvhodnějším připojení. Kromě této vstupní transformovny je ještě v závodě několik hlavních rozvodů, umístěných v provozovnách s největším odběrem elektrické energie. Podružné transformovny jsou umístěny co nejbližší spotřebičům. V závodech s velkou plošnou rozlohou, kde provozy jsou od sebe ve velkých vzdálenostech, umísťujeme rozvodny do podružných transformoven. [4]

## 1.6 Požadavky na elektrické rozvody a zařízení

Před připojením elektrického zařízení do elektrizační soustavy je nutné dodržet správné, technické a technicko-hospodářské požadavky a rozhodnutí. Jejich úspěšným splněním lze dosáhnout efektivnosti v zásobování a využívání elektrické energie. Hlavní hlediska spojená s návrhem elektrického zařízení:

- Bezpečnost osob a zařízení - elektrické zařízení musí být umístěno tak, aby nebylo vystaveno vnějším účinkům, které by způsobovaly jeho poruchy. Svým provozem a vnějšími účinky nesmí ohrožovat osoby, popř. jiná zařízení, ani při mimořádných provozních stavech (zkraty)
- Dodržení velikosti napětí - většina prvků soustavy je navrhována pro trvalý provoz se jmenovitým napětím. Odchyluje-li se od tohoto napětí napětím provozním, mění se zpravidla účinnost zařízení a kromě toho může mít odchylka napětí vliv na životnost.
- Ztráty výkonu - při průchodu proudu jednotlivými prvky vznikají ztráty výkonu. Při malých průřezích vodičů vedení a při materiálech málo vodivých jsou ztráty značné, při nadbytečných průřezích nebude zařízení zcela využito.
- Oteplování provozním proudem - pro každý prvek je s ohledem na jeho konstrukci a umístění stanovena trvalá dovolená teplota. Při jejím překračování může dojít k znehodnocování izolace nebo jiných částí prvku.
- Mechanická odolnost při bezporuchovém provozu - všechny části elektrického zařízení musí být mechanicky pevné, aby snesly namáhání, které se může vyskytnout při používání, a musí být spolehlivě upevněny tak, aby neohrožovaly okolí.
- Odolnost proti účinkům zkratů a velkých nadproudů - zkraty mají vedle dalších účinků tyto dva základní účinky: tepelné a silové. Připouští se zde vyšší tepelné a silové namáhání než v bezporuchovém provozu s ohledem na to, že část postižená poruchou je vypnuta za krátkou dobu, a na malou četnost těchto poruch.

- Obsah vyšších harmonických - v současné době je to velmi závažný problém, spojený především s používáním polovodičových součástek. U zařízení vybavených těmito součástkami se musí uvážit jeho účinky jak u spotřebitele, tak škodlivé zpětné účinky na napájecí soustavu.
- Jistota dodávky a zajištění přizpůsobitelnosti - zařízení se má navrhnout tak, aby výpadky dodávky energie z napájecí soustavy byly co nejméně časté a trvaly možná co nejkratší dobu. To také vyžaduje rychlé odstranění následků poruch pro provoz.
- Trvanlivost - elektrické zařízení musí být přiměřeně trvanlivé, je-li použito v podmínkách, pro které je určeno.
- Uspořádání - elektrické zařízení musí být uspořádáno účelně a přehledně, aby obsluha, kontroly a opravy byly snadné, rychlé a bezpečné a aby případné poruchy postihovaly jen nezbytnou část zařízení.
- Vliv na jiné zařízení - elektrické zařízení má na jiné elektrické obvody nebo na jiná zařízení i neelektrické působit tak, aby to neovlivňovalo jejich správnou funkci.
- Vliv jiných zařízení - elektrická zařízení je třeba umístit tak, aby nebyla vystavena škodlivému působení jiných zařízení.
- Estetický dojem - elektrické zařízení nemá svým zabudováním a umístěním působit nepříznivým estetickým dojmem.
- Unifikace – pro provoz a údržbu je nutné náhradní části. Jejich počet se zmenší, sjednotí-li se vybavení.

Uvedeným požadavkům musí vyhovět elektrické zařízení jako celek a i jeho jednotlivé části. Zpravidla se uváží několik alternativ, které se navzájem porovnávají a vyhodnotí.

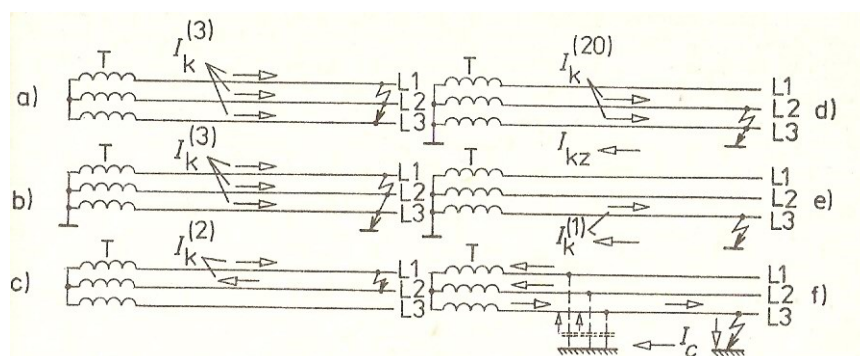
[10]

## 2 ZKRATY

### 2.1 Druhy zkratu

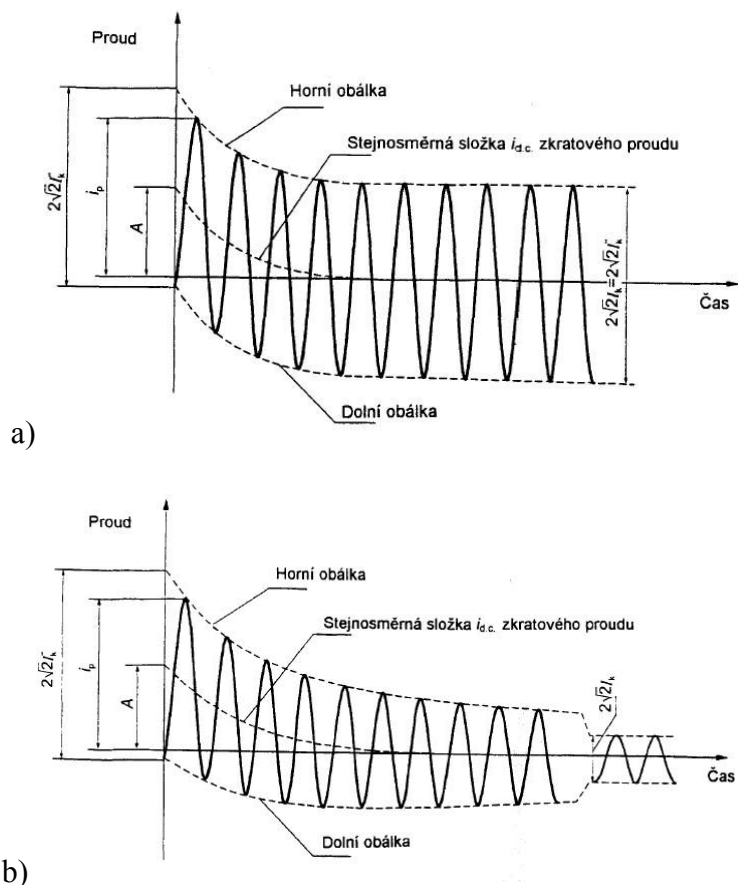
Dojde-li v elektrizační soustavě s účinně uzemněným uzlem k chybnému spojení mezi jednotlivými fázemi, popřípadě mezi některou fází a zemí, nastane zkrat. Ke zkratu může dojít z různých příčin, například nedokonalosti a vady elektrických zařízení (špatná izolace, znečištění nebo poškození izolátorů, vadné kontakty přístrojů a podobně.

Tyto zkraty jsou zaviněny buď špatnou výrobou, nedbalou montáží, nebo nepravidelné popřípadě zanedbané údržby. Podle toho, mezi kterými vodiči chybné spojení nastane, rozeznáváme různé druhy zkratu podle obr. 1 [5]



**obrázek 1** Druhy zkratu a) trojfázový zkrat b) trojfázový zemní zkrat c) dvoufázový zemní zkrat e) jednofázový zkrat f) zemní spojení (nepovažuje se za zkrat)

## 2.2 Průběh zkratového proudu



obrázek 2 Průběh zkratového proudu: a) elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou, b) elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou

## 2.3 Trojfázový zkrat napájený ideálním napěťovým zdrojem

Dosavadní poznatky provedených rozborů poměrů při trojfázovém zkratu v jednoduchém obvodu napájeném ideálním napěťovým zdrojem můžeme shrnout takto:

- a) Skutečný zkratový proud lze rozložit v každé fázi na dvě složky, ustálený zkratový proud (představující střídavou – periodickou složku zkratového proudu) a volný proud (představující stejnosměrnou – aperiodickou složku zkratového proudu)
- b) Ustálený zkratový proud má konstantní amplitudu, jeho frekvence je dána frekvencí zdroje. Počáteční hodnota proudu je závislá na okamžiku vzniku zkratu (na úhlu  $\alpha$ ) a na úhlu impedance zkratového obvodu ( $\phi_k$ ). Zřejmě bude nulová při  $(\alpha - \phi_k) = 0$ , to je při  $\alpha = \phi_k$ . Maximální hodnoty, rovné amplitudě, dosáhne při  $\sin(\alpha - \phi_k) = \pm 1$ , to je při úhlu  $\alpha = \phi_k \pm 90^\circ$ .
- c) Stejnosměrná složka zkratového proudu doznívá s časovou konstantou danou parametry zkratového obvodu,  $T_k = L_k/R$ . Počáteční hodnota této složky v každé fázi je závislá na rozdílu velikosti proudu předcházejícího ustáleného provozního stavu pro  $t = (-0)$  a ustáleného zkratového proudu pro  $t = (+0)$ . Na rozdíl od střídavé složky zkratového proudu závisí maximální velikost stejnosměrné složky zkratového proudu jak na úhlu  $\alpha$ , tak i na proudu předcházejícího provozního stavu.

Střídavá složka zkratového proudu má konstantní amplitudu pouze v případech, kdy je zkrat napájen ideálním napěťovými zdroji.

V ES jsou zkraty napájeny reálnými napěťovými zdroji a amplituda střídavé složky zkratového proudu na začátku zkratu je odlišná od amplitudy ustáleného zkratového proudu.[6]

## 2.4 Důsledky zkratů

V elektrickém zařízení se zkraty projevují četnými nepříznivými následky, ohrožujícími bezpečnost provozu, bezpečnost zařízení a především i bezpečnost obsluhujících osob.

Elektrické rozvodné soustavy je proto nutné dimenzovat s ohledem na možné proudy při zkratu. Jejich velikost se stanoví buď výpočtem, nebo měřením na modelu.

Při výpočtů zkratových proudů nás zajímají především tyto hodnoty (obr.2)

- počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{k''}$
- nárazový zkratový proud  $I_p$
- ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$  [7]

### 2.4.1 Druhy nepříznivých jevů při zkratech

Elektrická zařízení, přístroje a vedení, jimiž prochází zkratové proudy jsou namáhána jednak mechanickými silami mezi vodiči při zkratu, způsobenými především nárazovým zkratovým proudem  $I_{km}$  (včetně příspěvků od asynchronních motorů), jednak tepelně, zvětšeným proudovým zatížením po dobu trvání zkratu, daným fiktivním ekvivalentním oteplováním zkratovým proudem  $I_{th}$ , závislým na době trvání zkratu

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2 dt}$$

Při dimenzování elektrických zařízení na tyto účinky zkratových proudů je nutno brát ohled na podmínky vypínání zkratového proudu. Je nutno dbát na vypínací schopnost vypínačů, jističů a pojistek, které udávají výrobci pro určité podmínky, které je nutno dodržet.

Při překročení těchto hodnot, zejména velikost zotavného napětí, dochází ke snížení vypínací schopnosti spínacích přístrojů. U přístrojů nn je to i účinník zkratového proudu.

Zkratové proudy se projevují i dalšími účinky; indukcí napětí do souběžných sdělovacích vedení, poklesem napětí při zkratu a ohrožením stability rozvodné soustavy. [5]

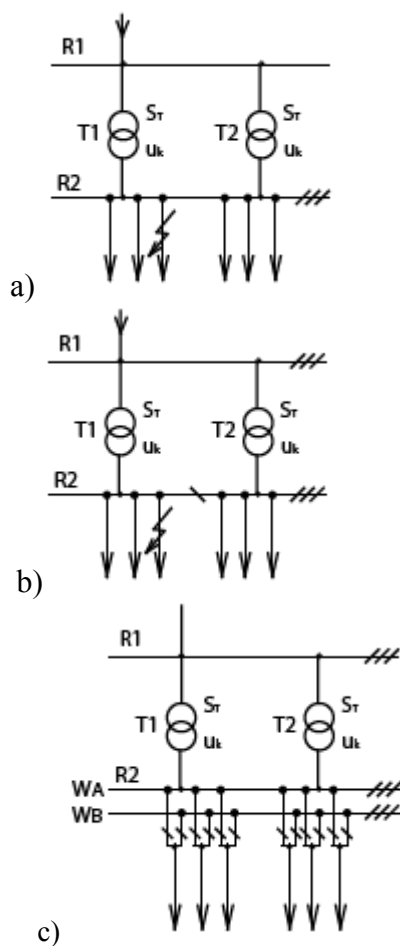
### 2.4.2 Elektrický oblouk

Zkrat je často provázen elektrickým obloukem, který ohrožuje zařízení ale zejména obsluhu zařízení a to horkými plyny a kovovými parami, rozstříknutými kovy a střepinami. Toto nebezpečí snižujeme omezením zkratových proudů, plným nebo částečným zakrytím rozvodných zařízení, dálkovým ovládáním a rychlým vypínáním zkratů.

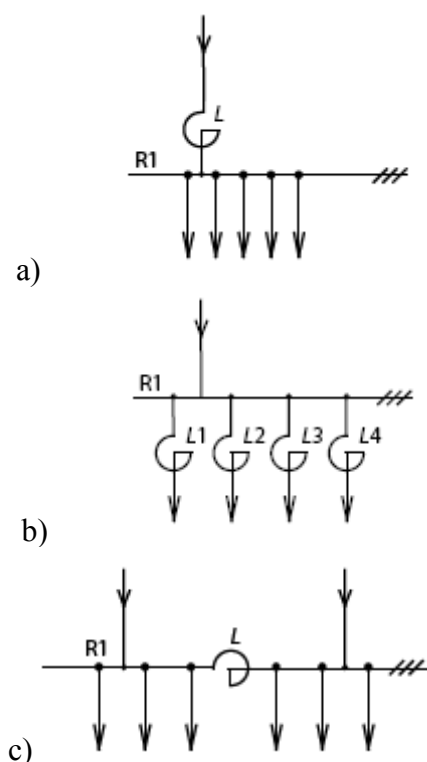
V některých případech je nutné zařízení s ohledem na zkraty dimenzovat tak, že to přesahuje mez ekonomické únosnosti. V tom případě uvažujeme o snížení velikosti zkratových proudů a to těmito způsoby:



- a) zmenšením výkonů zdrojů  $S_N$ , pracujících do zkratu
- b) zvětšením výsledné procentní impedance  $z_V$  (reaktance  $x_V$ )



**obrázek 3** Rozdělení zdrojů pracujících do zkratu a) nerozdělené zdroje, b) přípojnice R 2 rozděleny na úseky, c) výkon transformátorů T1, T2 rozdělen na samostatné systémy přípojníc WA, WB



**obrázek 4** Způsoby zapojení reaktorů: a) reaktor v přívodu, b) reaktory ve vývodech, c) reaktor v přípojnících

**ad a)** Zmenšením výkonů zdrojů pracujících do zkratu se tu rozumí rozdělení výkonů SN do samostatných úseků přípojníc a rozdělení rozvodných soustav na úseky, nepracující paralelně (obr.3). Tohoto způsobu řešení problému zkratových výkonů se používá zejména v soustavách nn, kde bývá omezení zkratového výkonu vynuceno i omezenou vypínací schopností vypínacích prvků.

**ad b)** Zvětšení impedance (reaktance) zkratového obvodu je možné:

- použitím alternátorů s větší rázovou reaktancí (obvykle nereálné)
- použitím transformátorů s větším napětím nakrátko  $u_k$ , to se však vymyká normám, a proto je to možné jen výjimečně a jen po dohodě s výrobcem
- zapojením alternátorů do bloku s transformátory
- použitím reaktorů

## 2.5 Reaktory

Reaktory jsou cívky bez železného jádra, zařazované do zkratového obvodu pro omezení zkratových proudů. Možná zásadní zapojení reaktorů do rozvodné soustavy jsou na obrázku 4. Nejvhodnější je řešení podle obrázku 4c, neboť se při tomto uspořádání neprojeví při normálním provozu úbytek napětí na reaktoru (procházejí jím jen malé vyrovnávací proudy, na které se dimenzuje). Úbytek napětí na reaktoru v normálním provozu je dán vztahem:

$$u = u_L \cdot \sin \varphi = u_L \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Při zkratu se reaktanční napětí reaktoru projeví téměř plnou hodnotou.[5]

### 3 TORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTŮ ZKRATOVÝCH POMĚRŮ DLE ČSN EN 60909

#### 3.1 Postup výpočtu

Nakreslíme jednopólové schéma zapojení obvodu, do kterého zapíšeme parametry jednotlivých prvků vztažené k jejich jmenovitému výkonu a napětí. Provedeme výpočet náhradních impedancí jednotlivých zkratových příspěvků. Z tohoto schématu odvodíme schéma sousledné, je-li zapotřebí zpětné a netočivé složky. Pro každý složkový systém určíme jeho impedance. Z výsledné impedance vypočteme počáteční rázový zkratový proud  $I''_k$ . Později vypočteme vypínací proud  $I_b$ , nárazový zkratový proud  $i_p$  a ekvivalentní oteplovací proud  $I_{th}$ . Při výpočtu se předpokládá, že parametry prvků elektrické soustavy se během zkratu nemění. Soustava před zkratem se předpokládá symetrická. Předpokládá se, že zkraty vznikají v jednom místě současně. Neuvažujeme s vlivem elektrického oblouku na velikosti zkratového proudu.

#### 3.2 Předpoklady výpočtu

Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z následujících zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratem mezi fází a zemí.
- b) Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- c) Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance pro síťové transformátory.
- d) Odpor oblouku se neuvažují.
- d) Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

### 3.2.1 Maximální zkratové proudy

Při výpočtu maximálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel  $c_{\max}$ , pokud není příslušná národní norma.
- Vybrat konfiguraci soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu nebo pro přijaté dělení sítě pro omezení zkratového proudu.
- Pokud je použita ekvivalentní impedance jako reprezentující vnější síť, musí se použít minimální ekvivalentní zkratová impedance, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů. QZ
- Motory musí být zahrnuty.
- Užívají se rezistance  $R_L$  vedení (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20°C.

### 3.2.2 Minimální zkratový proud

Při výpočtu minimálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet minimálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel  $c_{\min}$ .
- Vybrat konfiguraci soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu.
- Motory musí být zanedbány.
- Rezistance  $R_L$  vedení (venkovních vedení a kabelů, vodičů a středních vodičů) se musí uvažovat při největší teplotě:

$$R_L = [1 + \alpha \cdot (\vartheta_e - 20^\circ\text{C})] \cdot R_{L20}$$

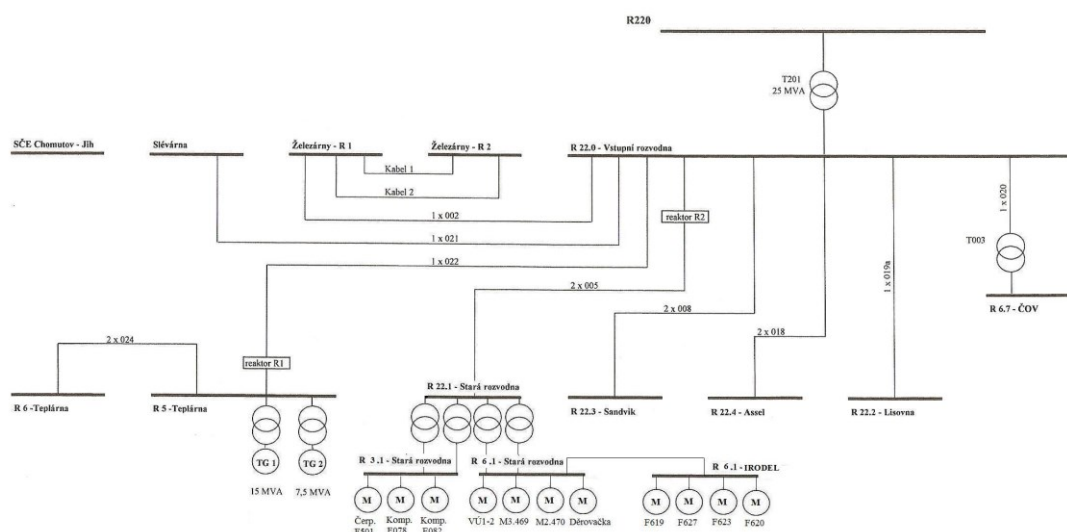
$R_{L20}$  .....rezistance při teplotě 20°C

$\vartheta_e$  .....teplota vodiče ve stupních Celsia na konci zkratu

$\alpha$  .....součinitel rovný 0,004/K, platný s dostatečnou přesností pro praktické účely pro měď, hliník a slitiny hliníku

## 4 POPIS PROVOZNÍCH VARIANT ZAPOJENÍ SÍTĚ PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

### 4.1 Varianta č.1a – T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1



obrázek 5 Zapojení s T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1

#### 4.1.1 Popis zapojení s T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T201 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájeny kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, přes reaktor R1 rozvodna „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Asel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1

v sérii s generátorem TG1=15MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájená rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájeny 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájená napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájená rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájeny 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

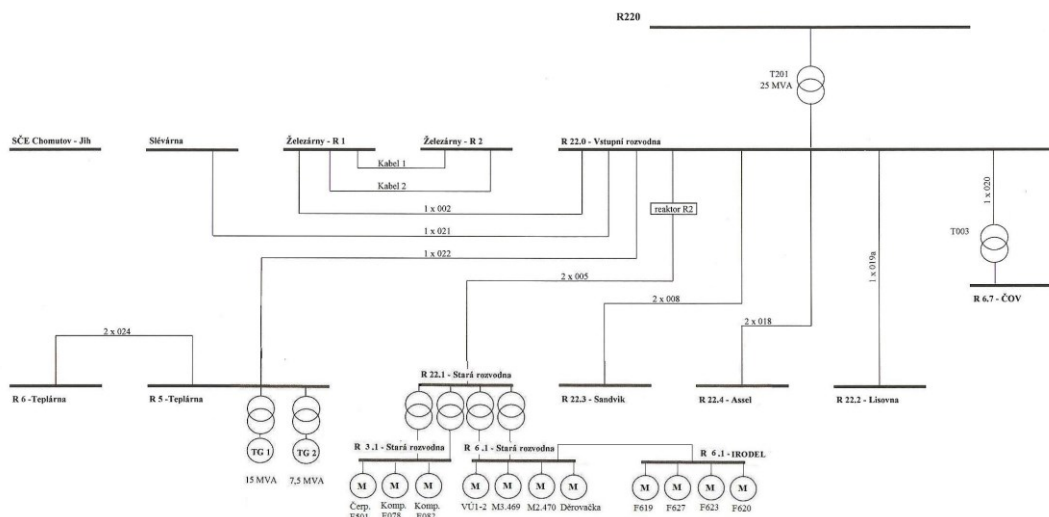
Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

Technické údaje transformátorů, generátorů, reaktorů, motorů a kabelů pro všechny varianty zapojení jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

Kabely, které nejsou vyznačeny ve schématu jsou dle zadání ve výpočtech zanedbány.

#### 4.2 Varianta č.1b – T201, TG1=15MVA, bez reaktoru R1



**obrázek 6** Zapojení s T201, TGI=15MVA, bez reaktoru R1



#### 4.2.1 Popis zapojení s T201, TG1=15MVA, bez reaktoru R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T201 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájeny kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1 v sérii s generátorem TG1=15MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájena rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájeny 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájena napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájena rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájeny 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

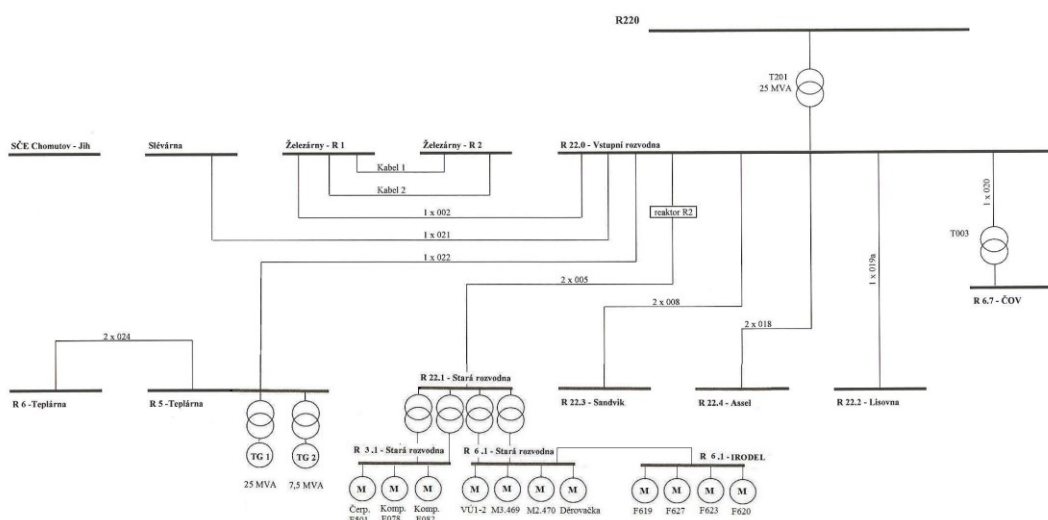


čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájená rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájené 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

#### 4.4 Varianta č.2b – T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1



obrázek 8 Zapojení s T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1

##### 4.4.1 Popis zapojení s T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T201 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájené kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájená rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1

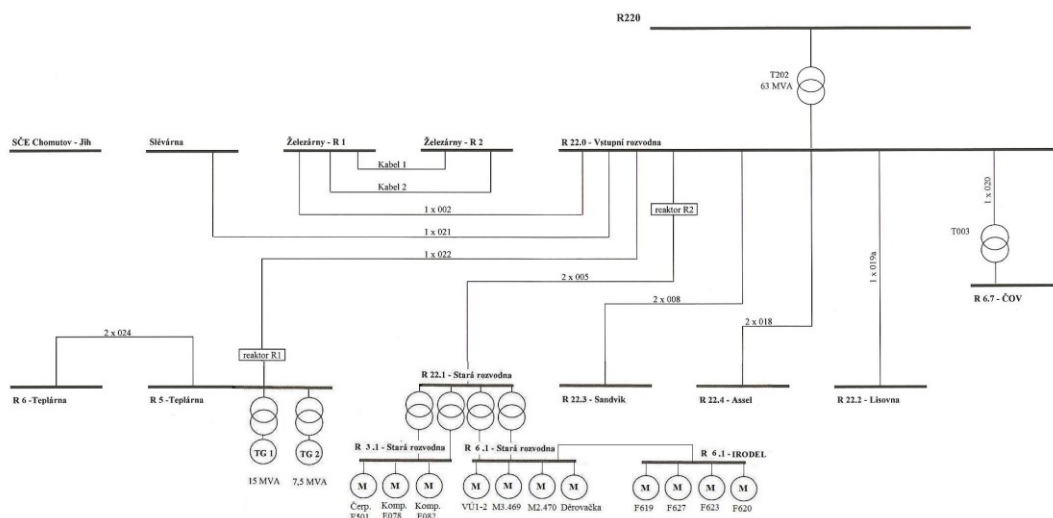
v sérii s generátorem  $TG1=25\text{MVA}$  a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru  $TG2=7,5\text{MVA}$ .

Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájená rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájeny 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájená napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájená rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájeny 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

## 4.5 Varianta č.3a – T202, $TG1=15\text{MVA}$ , s reaktorem R1



obrázek 9 Zapojení s T202,  $TG1=15\text{MVA}$ , s reaktorem R1

### 4.5.1 Popis zapojení s T202, $TG1=15\text{MVA}$ , s reaktorem R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T202 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájené kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, přes reaktor R1 rozvodna „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

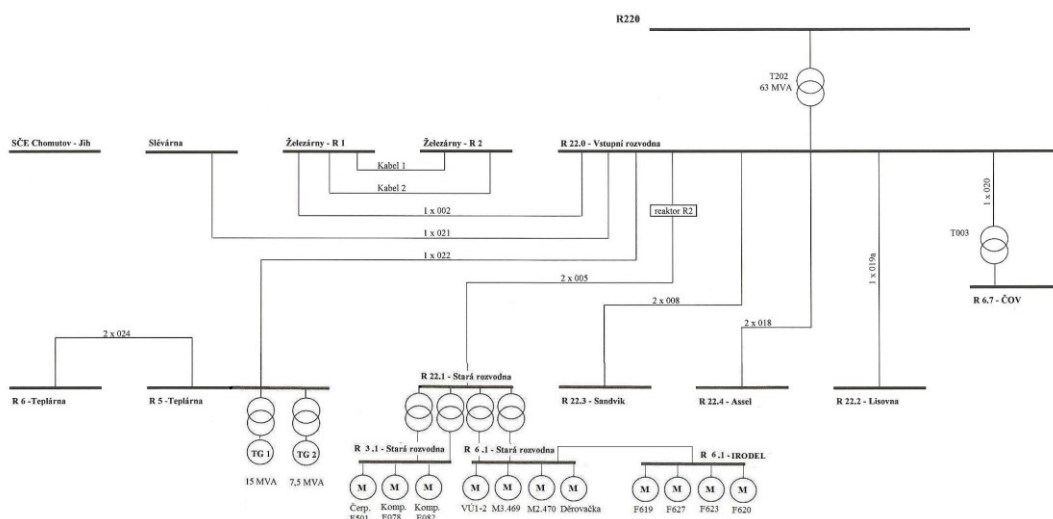
Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1 v sérii s generátorem TG1=15MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájena rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájené 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájena napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájena rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájené 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

#### 4.6 Varianta č.3b – T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1



obrázek 10 Zapojení s T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1

#### 4.6.1 Popis zapojení s T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T202 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájeny kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

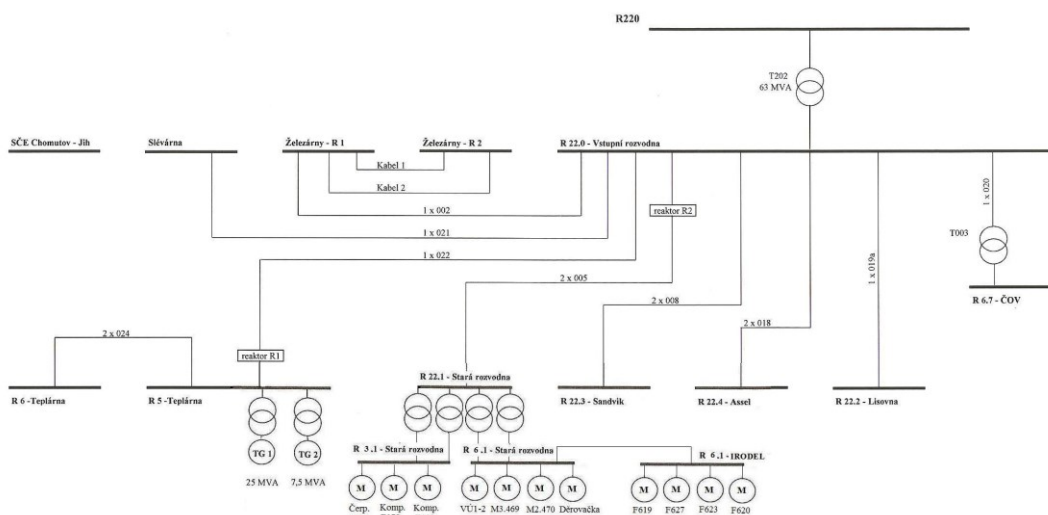
Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1 v sérii s generátorem TG1=15MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájena rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájeny 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájena napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájena rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájeny 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

#### 4.7 Varianta č.4a – T202, TG1=25MVA, s reaktorem R1



**obrázek 11** Zapojení s T202,  $TG1=25MVA$ , s reaktorem R1

#### 4.7.1 Popis zapojení s T202, TG1=25MVA, s reaktorem R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T202 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájené kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, přes reaktor R1 rozvodna „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“ . Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1 v sérii s generátorem TG1=25MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

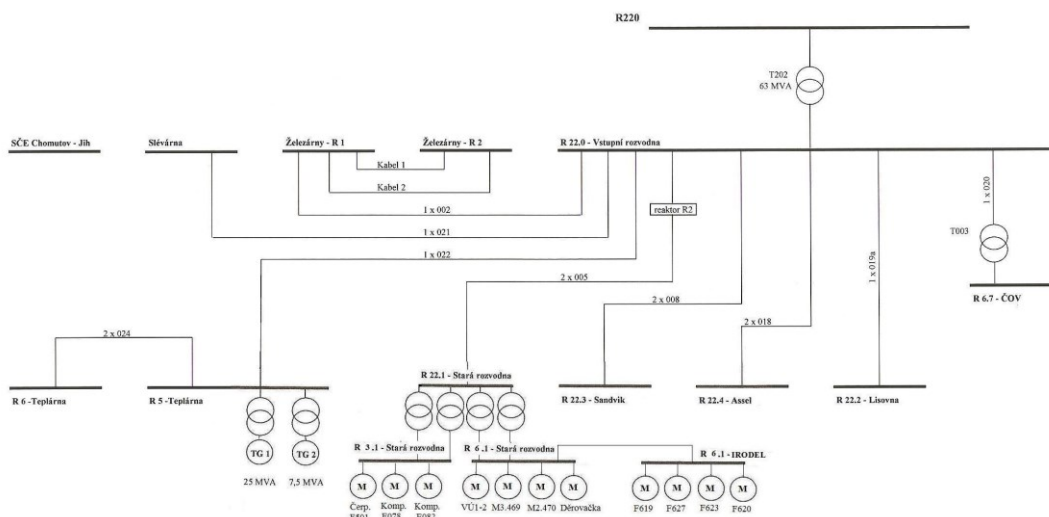
Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájená rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájeny 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájená napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469,

čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájena rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájeny 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

## 4.8 Varianta č.4b – T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1



obrázek 12 Zapojení s T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1

### 4.8.1 Popis zapojení s T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1

V tomto zapojení je hlavní a napájecí rozvodnou průmyslového podniku rozvodna „R220 kV“. V této rozvodně se přes transformátor T202 transformuje napětí z hladiny 220 kV na napětí 22 kV pro rozvodnu „R22.0-Vstupní rozvodna“.

Z této rozvodny jsou napájeny kabelovým vedením rozvodny „Slévárna“, „Železářny-R1“, „R5-Teplárna“, přes reaktor R2 rozvodna „R22.1-Stará rozvodna“, rozvodny „R22.3-Sandvik“, „R22.4-Assel“, „R22.2-Lisovna“ a přes transformátor T003 na napětí 6kV rozvodna „R6.7-ČOV“.

Z rozvodny „Železářny-R1“ je přes dva paralelní kabely napájena rozvodna „Železářny-R2“. Z rozvodny „R5-Teplárna“ je napojena rozvodna „R6-teplárna“ a také transformátor T1



v sérii s generátorem TG1=25MVA a paralelně taky sériové zapojení transformátoru T2 a generátoru TG2=7,5MVA.

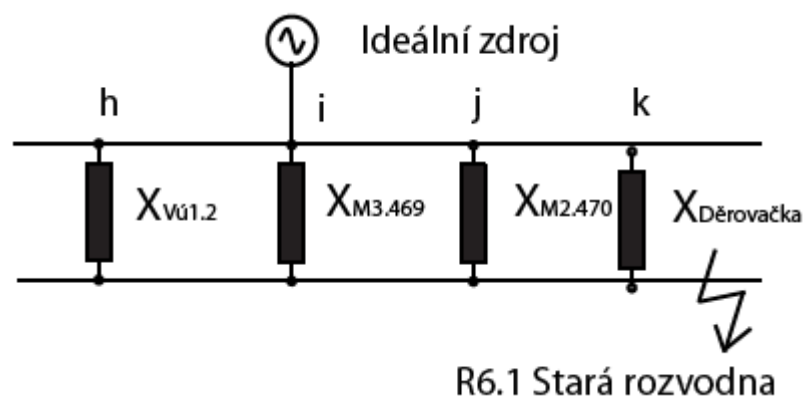
Z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T1 a T2 napájená rozvodna „R3.1-Stará rozvodna“ napětím 3kV. Z této rozvodny jsou napájené 3 VN motory čerpadlo F501, kompresor E078, kompresor E082. Dále pak z rozvodny „R22.1-stará rozvodna“ je přes dva paralelně zapojené transformátory T5 a T6 napájená napětím 6kV rozvodna „R6.1-Stará rozvodna“, na kterou jsou zapojeny 4 VN motory úpravna VÚ1-2, čerpadlo M3.469, čerpadlo M2.470 a děrovačka. Dále z této rozvodny je napájená rozvodna „R6.1-Irodel“, ze které jsou napájené 4 VN motory čerpadlo F619, čerpadlo F627, čerpadlo F623 a čerpadlo F620.

Z rozvodny „R22.3-Sandvik“ jsou napájeny dva transformátory T301 a T302.

Z rozvodny „R22.4-Assel“ je napájený transformátor T43.

## 5 VÝPOČTY PŘÍSPĚVKŮ MOTORŮ NA ROZVODNY

### 5.1 Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R6.1 - Stará rozvodna“



obrázek 13 Náhradní schéma R6.1-Stará rozvodna

**Reaktance motorů:**

$$X_{h(1)} = \frac{1}{I_s} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 26,4} = 26,243 \Omega = Z_{h(1)}$$

$$X_{i(1)} = \frac{1}{I_s} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 18,475 \Omega = Z_{i(1)}$$

$$X_{j(1)} = \frac{1}{I_s} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 18,475 \Omega = Z_{j(1)}$$

$$X_{k(1)} = \frac{1}{I_s} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 730} = 0,949 \Omega = Z_{k(1)}$$

**Celková hodnota impedance:**

$$\frac{1}{Z_{R6,1St.roz.}} = \frac{1}{Z_{h(1)}} + \frac{1}{Z_{i(1)}} + \frac{1}{Z_{j(1)}} + \frac{1}{Z_{k(1)}} = \frac{1}{26,243} + \frac{1}{18,475} + \frac{1}{18,475} + \frac{1}{0,949} 1/\Omega$$

$$Z_{R6,1St.roz.} = 0,833\Omega$$

**Absolutní hodnota impedance:**

$$|Z_{MR6,1St.roz.}| = \sqrt{R_{MR6,1St.roz.}^2 + X_{MR6,1St.roz.}^2} = \sqrt{0^2 + 0,833^2} = 0,833\Omega$$

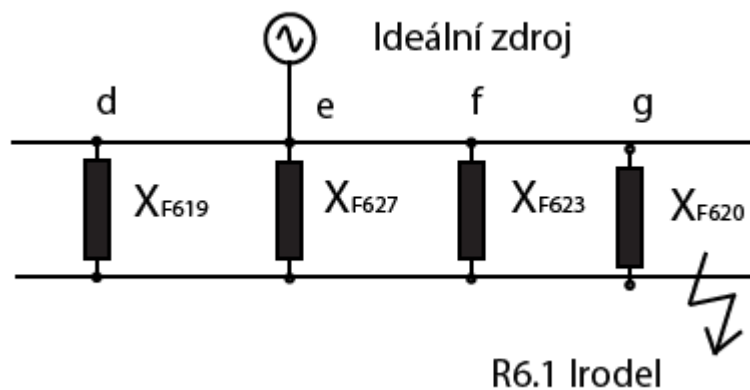
**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového proudu:**

$$I''_{k3max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{MR6,1St.roz.}|} = \frac{1,1 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,833} = 4,574 \text{ kA}$$

**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového výkonu od motorů:**

$$S''_{k3max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3max} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 4,574 = 47,534 \text{ MVA}$$

## 5.2 Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R6.1 - Irodel“



obrázek 14 Náhradní schéma R6.-Irodel

Výpočty jsou obdobné jako v předcházejícím případě, proto uvádím jen výsledky.

**Absolutní hodnota impedance:**

$$|Z_{MR6.1-Irodel}| = \sqrt{R_{MR6.1-Irodel}^2 + X_{MR6.1-Irodel}^2} = 2,459\Omega$$

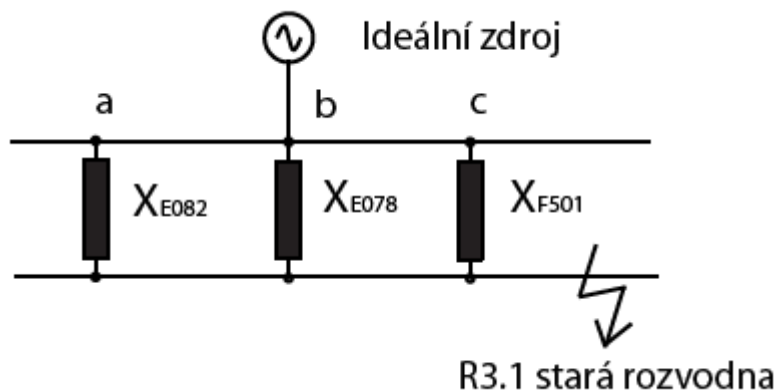
**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového proudu:**

$$I''_{k3max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{MR6.1-Irodel}|} = 1,550 \text{ kA}$$

**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového výkonu od motorů:**

$$S''_{k3max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3max} = 16,108 \text{ MVA}$$

### 5.3 Výpočet příspěvku motorů na rozvodnu „R3.1 - Stará rozvodna“



obrázek 15 Náhradní schéma R3.1-Stará rozvodna

V tomto případě se použily jiné vzorce u motoru „Kompresor E082“ a „Kompresor E 078“, protože tyto motory jsou synchronní, proto používáme výpočty jako u generátorů.

**Absolutní hodnota impedance:**

$$|Z_{M R3.1-St.roz.}| = \sqrt{R_{M R3.1-St.roz.}^2 + X_{M R3.1-St.roz.}^2} = 1,297 \Omega$$

**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového proudu:**

$$I''_{k3max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{M R3.1-St.roz.}|} = 1,469 \text{ kA}$$

**Příspěvek maximálního počátečního rázového zkratového výkonu od motorů:**

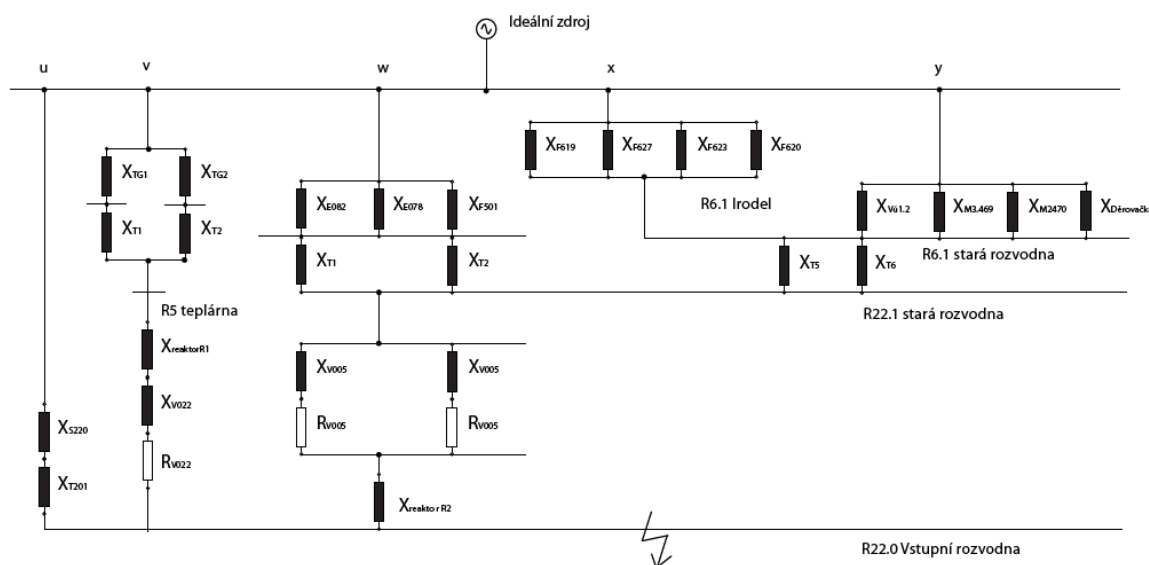
$$S''_{k3max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3max} = 7,633 \text{ MVA}$$

## 6 MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÉ POMĚRY NA ROZVODNÁCH

Vstupní data jsou uvedeny v tabulkách. Ve výpočtech se zanedbávají impedance kabelů, které nejsou ve schématu očíslované.

### 6.1 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.1a

#### 6.1.1 Příklad výpočtů maximálních zkratových poměrů na rozvodně „R 22.00 - Vstupní rozvodna“



obrázek 16 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.0 Vstupní rozvodna

#### Reaktance nadřazené soustavy 220kV

$$X_{S220} = \frac{c \cdot U_{nS}^2}{S''_{k3\max}} = \frac{1,1 \cdot 220^2}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 14,41} = \frac{53240}{5490,95} = 9,696 \, \Omega$$

#### Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu (22kV)

$$X_{S220(22kV)} = X_{S220} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 9,696 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 0,09696 \quad \Omega$$

**Reaktance transformátoru T201**

$$X_{T201} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{11 \cdot 220^2}{100 \cdot 25} = 212,96 \Omega$$

**Přepočet na hladinu napětí 22kV**

$$X_{T201(22kV)} = X_{T201} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 212,96 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 2,130 \quad \Omega$$

**Impedance jednotlivých větví obvodu**

$$Z_u = X_{S(22kV)} + X_{T201(22kV)} = j0,09696 + j2,130 = j2,227 \Omega$$

**Reaktance reaktoru R1**

$$X_{reaktor R1} = \frac{u_{kr} \cdot U_{nr}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{nr}} = \frac{9,35 \cdot 22000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 2,969 \Omega$$

$$Z_{V3} = X_{reaktor R1 S(22kV)} + R_{V022} + X_{V022} = j2,969 + (0,129 + j0,1231) \cdot 1,2 = 0,1548 + j3,117 \Omega$$

**Reaktance generátoru TG1**

$$X_{TG1} = \frac{u_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 22^2}{100 \cdot 15} = 4,84 \Omega$$

**Reaktance transformátoru T1**

$$X_{T1} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{7,95 \cdot 22^2}{100 \cdot 16} = 2,405 \Omega$$

$$Z_{V1} = X_{TG1} + X_{T1} = j4,84 + j2,405 = j7,245 \Omega$$

**Reaktance generátoru TG2**

$$X_{TG2} = \frac{u_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{16,7 \cdot 22^2}{100 \cdot 7,5} = 10,778 \Omega$$

**Reaktance transformátoru T2**

$$X_{T2} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{7,85 \cdot 22^2}{100 \cdot 10} = 3,799 \Omega$$

$$Z_{V2} = X_{TG2} + X_{T2} = j10,778 + j3,799 = j14,577 \Omega$$

**Reaktance reaktoru R2**

$$X_{reaktor R2} = \frac{u_{kr} \cdot U_{nr}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{nr}} = \frac{6,45 \cdot 22000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 630} = 1,3 \Omega$$

**Impedance dvou paralelních kabelů**

$$Z_{V005} = \frac{R_{V005} + jX_{V005}}{2} = \frac{0,129 + j0,1231}{2} = 0,065 + j0,062 \Omega$$

**Reaktance motorů  $M_{E082}$ ,  $M_{E078}$ ,  $M_{F501}$** 

$$X_{E078} = \frac{X_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 3^2}{100 \cdot 0,25} = 5,4 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{E078} = j5,4 \Omega$$

$$X_{E082} = \frac{X_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} = \frac{15 \cdot 3^2}{100 \cdot 0,25} = 5,4 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{E082} = j5,4 \Omega$$



$$X_{F501} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115,5} = 2,499 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{F501} = j2,499\Omega$$

$$\frac{1}{Z_{M1}} = \frac{1}{Z_{E082}} + \frac{1}{Z_{E078}} + \frac{1}{Z_{F501}} = \frac{1}{j5,4} + \frac{1}{j5,4} + \frac{1}{j2,499} (1/\Omega)$$

$$Z_{M1} = j1,297\Omega$$

#### Přepočít na napěťovou hladinu v místě zkratu (22kV)

$$X_{M1(3kV)} = X_{M1(22kV)} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 1,297 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 69,75 \quad \Omega$$

#### Reaktance transformátorů T1 a T2

$$X_{T1} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{7 \cdot 22^2}{100 \cdot 6,3} = 5,378 \Omega$$

$$X_{T2} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{7 \cdot 22^2}{100 \cdot 6,3} = 5,378 \Omega$$

$$X_{T1+T2} = \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{T2}} = \frac{5,378 \cdot 5,378}{5,378 + 5,378} = 2,689 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{T1+T2} = j2,689 \Omega$$

#### Reaktance motorů M<sub>F619</sub>, M<sub>F627</sub>, M<sub>F623</sub>, M<sub>F620</sub>

$$X_{F619} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 57,6} = 10,023 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{F619} = j10,023\Omega$$

$$X_{F627} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 59,8} = 9,655 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{F627} = j9,655\Omega$$

$$X_{F623} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 59,8} = 9,655 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{F623} = j9,655\Omega$$

$$X_{F620} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 57,6} = 10,023 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{F620} = j10,023\Omega$$

$$\frac{1}{Z_{M2}} = \frac{1}{Z_{F619}} + \frac{1}{Z_{F627}} + \frac{1}{Z_{F623}} + \frac{1}{Z_{F620}} = \frac{1}{j10,23} + \frac{1}{j9,655} + \frac{1}{j9,655} + \frac{1}{j10,23} (1/\Omega)$$

$$Z_{M2} = j2,459\Omega$$

**Přepočítání na napětíovou hladinu v místě zkratu (22kV)**

$$X_{M2(3kV)} = X_{M2(22kV)} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 2,459 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 33,06 \quad \Omega$$

**Reaktance motorů  $M_{VÚ1.2}$ ,  $M_{M3.469}$ ,  $M_{M2.470}$ ,  $M_{Děrovačka}$**

$$X_{VÚ1.2} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 26,4} = 26,243 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{VÚ1.2} = j26,243\Omega$$

$$X_{M3.469} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 18,475 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{M3-469} = j18,475\Omega$$

$$X_{M2.470} = \frac{1}{I_{LR} / I_{RM}} \cdot \frac{U_{RM}}{\sqrt{3} \cdot I_{RM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5} = 18,475 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{M2.470} = j18,475\Omega$$

$$X_{\text{Děrovačka}} = \frac{1}{I_{\text{LR}} / I_{\text{RM}}} \cdot \frac{U_{\text{RM}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{RM}}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 730} = 0,949 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{\text{Děrovačka}} = j0,949 \Omega$$

$$\frac{1}{Z_{\text{M3}}} = \frac{1}{Z_{\text{VÚ1.2}}} + \frac{1}{Z_{\text{M3.469}}} + \frac{1}{Z_{\text{M2.470}}} + \frac{1}{Z_{\text{Děrovačka}}} = \frac{1}{j26,243} + \frac{1}{j18,475} + \frac{1}{j18,475} + \frac{1}{j0,949} (1/\Omega)$$

$$Z_{\text{M3}} = j0,833 \Omega$$

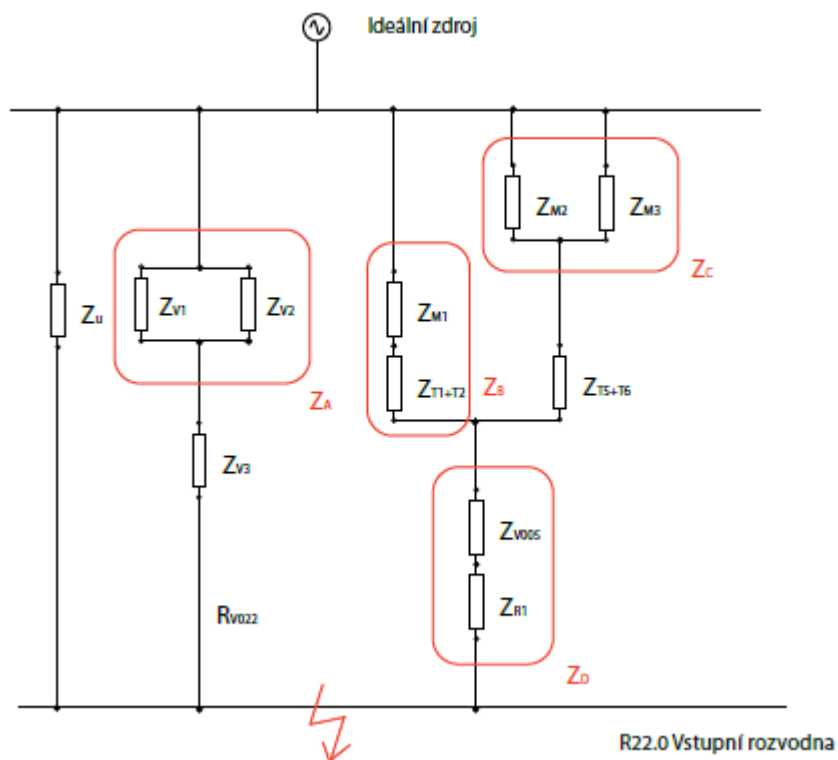
### Přepočet na napět'ovou hladinu v místě zkratu (22kV)

$$X_{\text{M2(3kV)}} = X_{\text{M2(22kV)}} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 0,833 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 11,199 \quad \Omega$$

$$X_{\text{T5}} = \frac{u_k \cdot U_{\text{nT}}^2}{100 \cdot S_{\text{nT}}} = \frac{6,45 \cdot 22^2}{100 \cdot 6,3} = 4,955 \Omega$$

$$X_{\text{T6}} = \frac{u_k \cdot U_{\text{nT}}^2}{100 \cdot S_{\text{nT}}} = \frac{6,45 \cdot 22^2}{100 \cdot 6,3} = 4,955 \Omega$$

$$X_{\text{T5+T6}} = \frac{X_{\text{T5}} \cdot X_{\text{T6}}}{X_{\text{T5}} + X_{\text{T6}}} = \frac{4,955 \cdot 4,955}{4,955 + 4,955} = 2,478 \Omega \quad \dots\dots\dots Z_{\text{T5+T6}} = j2,478 \Omega$$

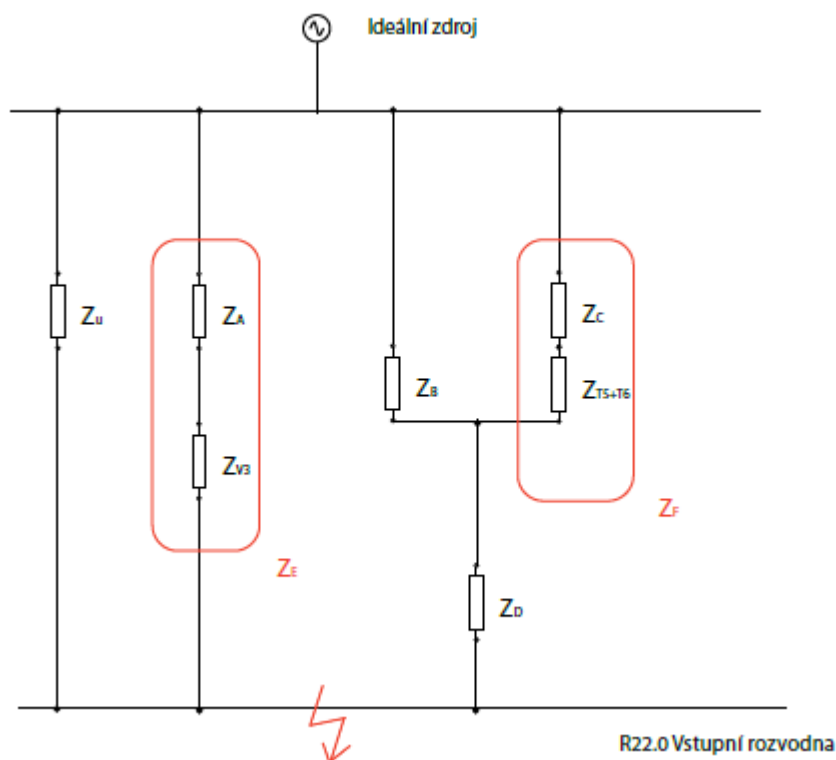
obrázek 17 Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy –  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$ ,  $Z_D$ 

$$Z_A = \frac{Z_{V1} \cdot Z_{V2}}{Z_{V1} + Z_{V2}} = \frac{(0 + j7,245) \cdot (0 + j14,577)}{(0 + j7,245) + (0 + j14,577)} = j4,8396 \Omega$$

$$Z_B = Z_{M1} + Z_{T1+T2} = j134,39 + j2,689 = j137,08 \Omega$$

$$Z_C = \frac{Z_{M1} \cdot Z_{M3}}{Z_{M1} + Z_{M3}} = \frac{j33,06 \cdot j11,199}{j33,06 + j11,199} = j8,37 \Omega$$

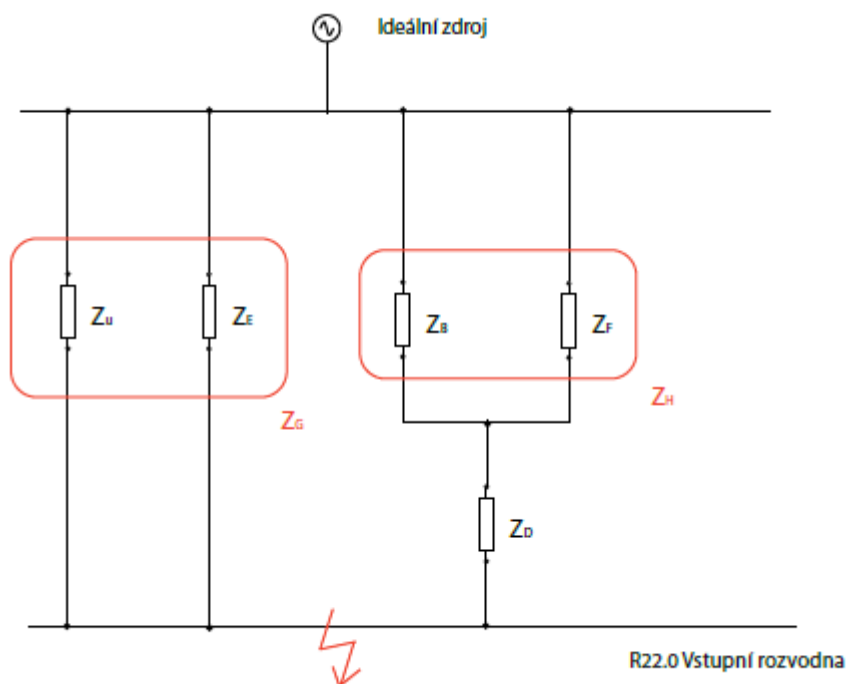
$$Z_D = Z_{V005} + Z_{R1} = (0,065 + j0,062) + (0 + j2,969) = 0,065 + j3,031 \Omega$$



obrázek 18 Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy –  $Z_E$ ,  $Z_F$

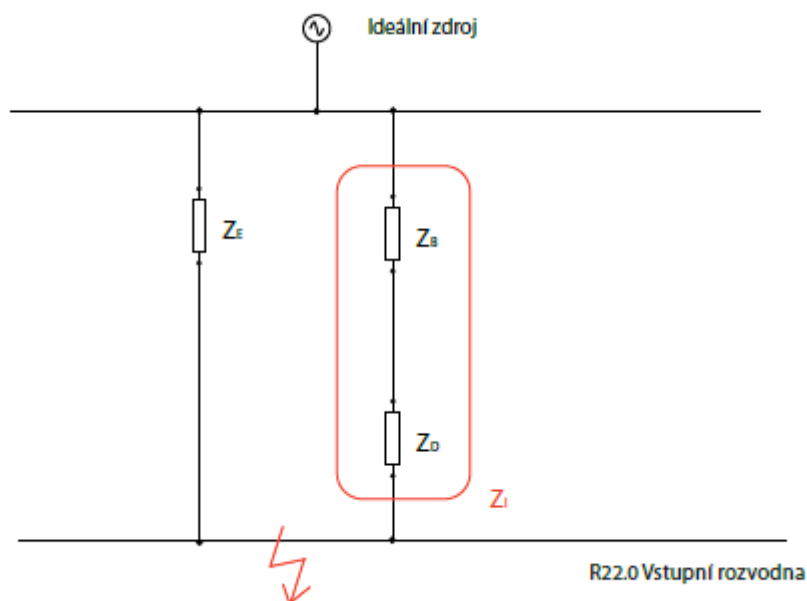
$$Z_E = Z_A + Z_{V3} = j4,8396 + 0,1548 + j3,117 = 0,1548 + j7,957 \Omega$$

$$Z_F = Z_C + Z_{T5+T6} = j8,37 + j2,478 = j10,848 \Omega$$

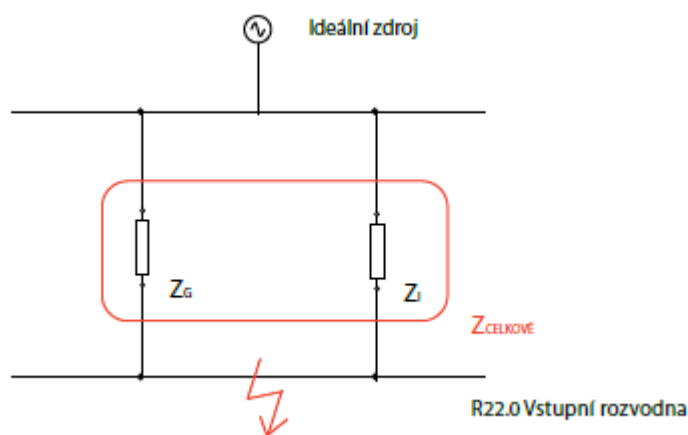
obrázek 19 Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy –  $Z_G$ ,  $Z_H$ 

$$Z_G = \frac{Z_u \cdot Z_E}{Z_u + Z_E} = \frac{(0 + j2,227) \cdot (0,1548 + j7,957)}{(0 + j2,227) + (0,1548 + j7,957)} = 0,0074 + j1,7401 \Omega$$

$$Z_H = \frac{Z_B \cdot Z_F}{Z_B + Z_F} = \frac{j137,08 \cdot j10,848}{j137,08 + j10,848} = j10,05 \Omega$$

obrázek 20 Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy –  $Z_I$ 

$$Z_I = Z_H + Z_D = j10,05 + 0,065 + j3,031 = 0,065 + j13,08 \Omega$$

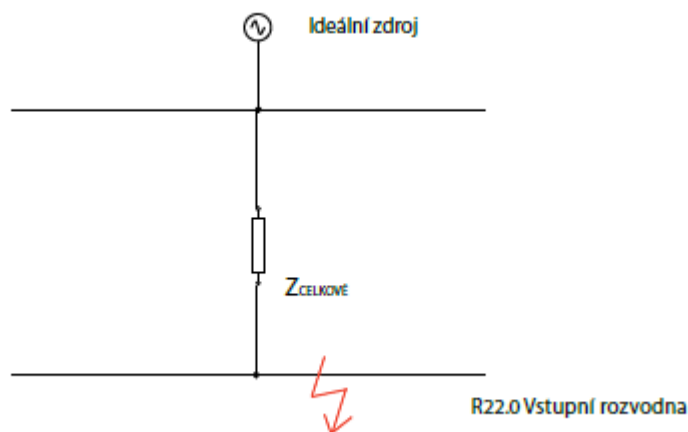
obrázek 21 Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy –  $Z_{CELKOVÉ}$ 

### Celková impedance zkratového obvodu

$$Z_{CELKOVÉ} = \frac{Z_G \cdot Z_I}{Z_G + Z_I} = \frac{(0,0074 + j1,7401) \cdot (0,065 + j13,08)}{(0,0074 + j1,7401) + (0,065 + j13,08)} = 0,0067 + j1,536 \Omega$$

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = \sqrt{R_{\text{CELKOVÉ}}^2 + X_{\text{CELKOVÉ}}^2} = \sqrt{0,0067^2 + j1,536^2} = 1,536\Omega$$



obrázek 22 Konečné zjednodušení náhradního schématu soustavy

**Maximální počáteční rázový zkratový proud**

$$I''_{k3\max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{\text{CELKOVÉ}}|} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 1,536} = 9,096 \text{ kA}$$

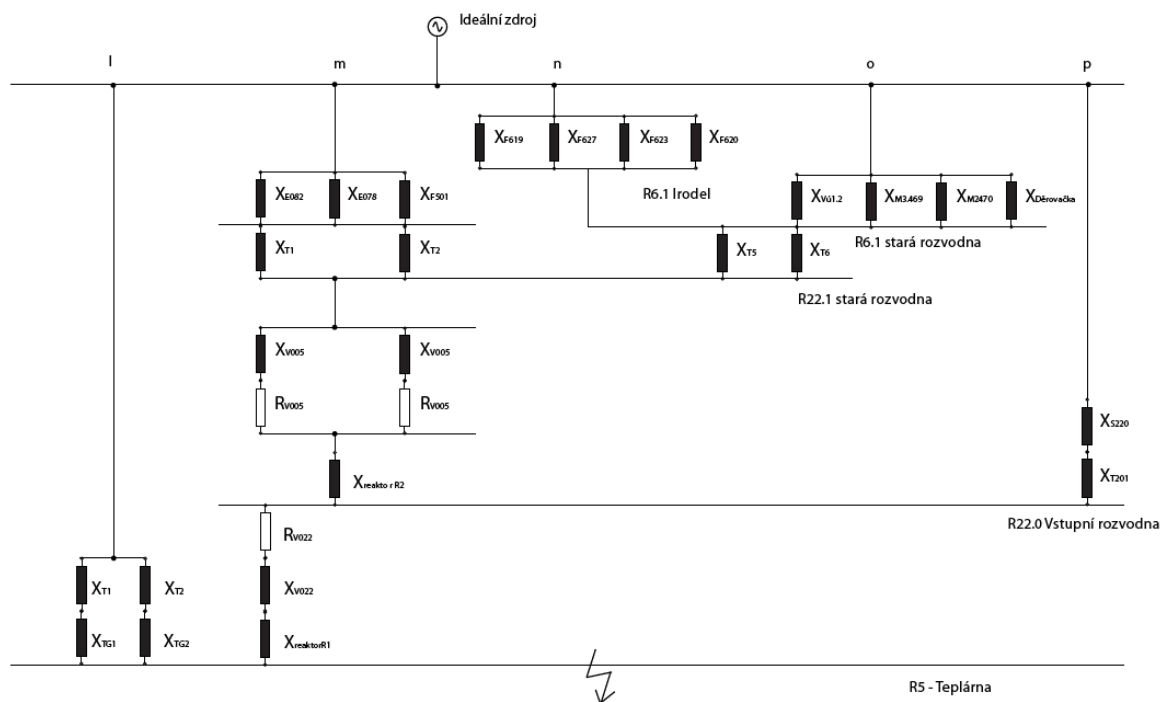
**Maximální zkratový výkon**

$$S''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 9,096 = 346,38 \text{ MVA}$$

Rozvodna	$ Z_k $	$I''_{k3\max}$	$S''_{k3\max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,527	9,15	348,7



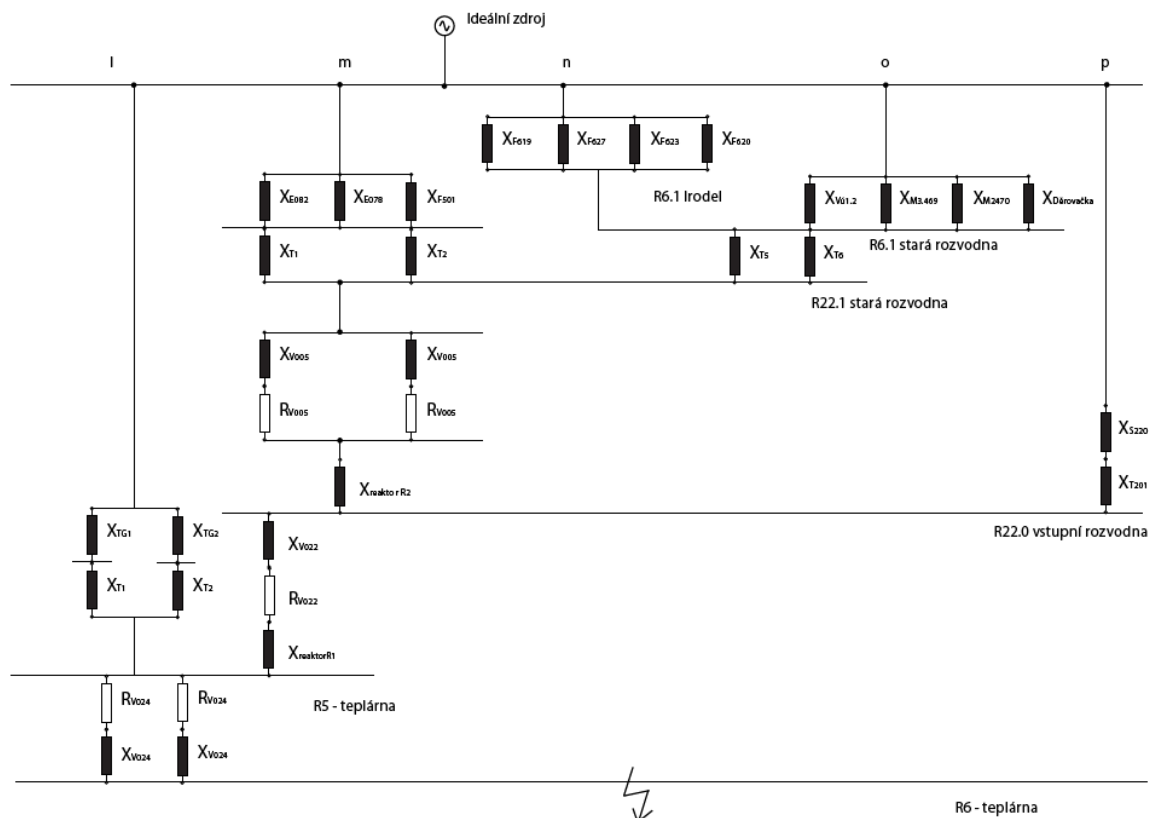
### 6.1.2 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R 5 - Teplárna“



obrázek 23 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R5 -Teplárna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 5 - Teplárna	2,3353	5,983	227,975

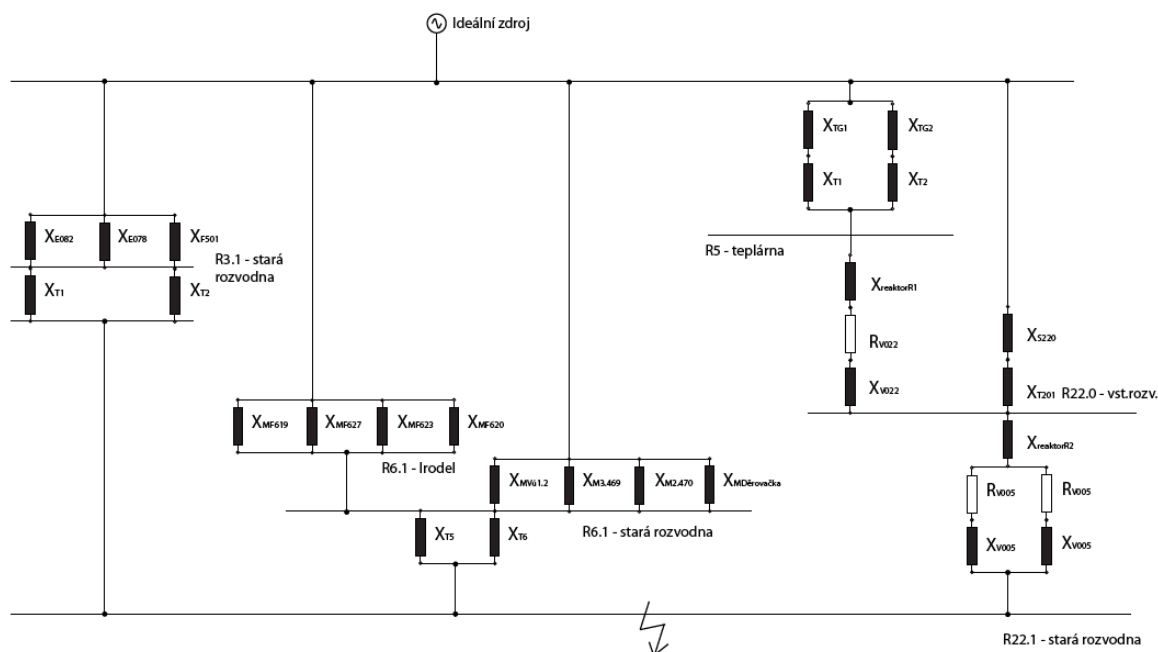
### 6.1.3 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R 6 - Teplárna“



obrázek 24 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6 – Teplárna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 6 – Teplárna	2,4345	5,739	218,690

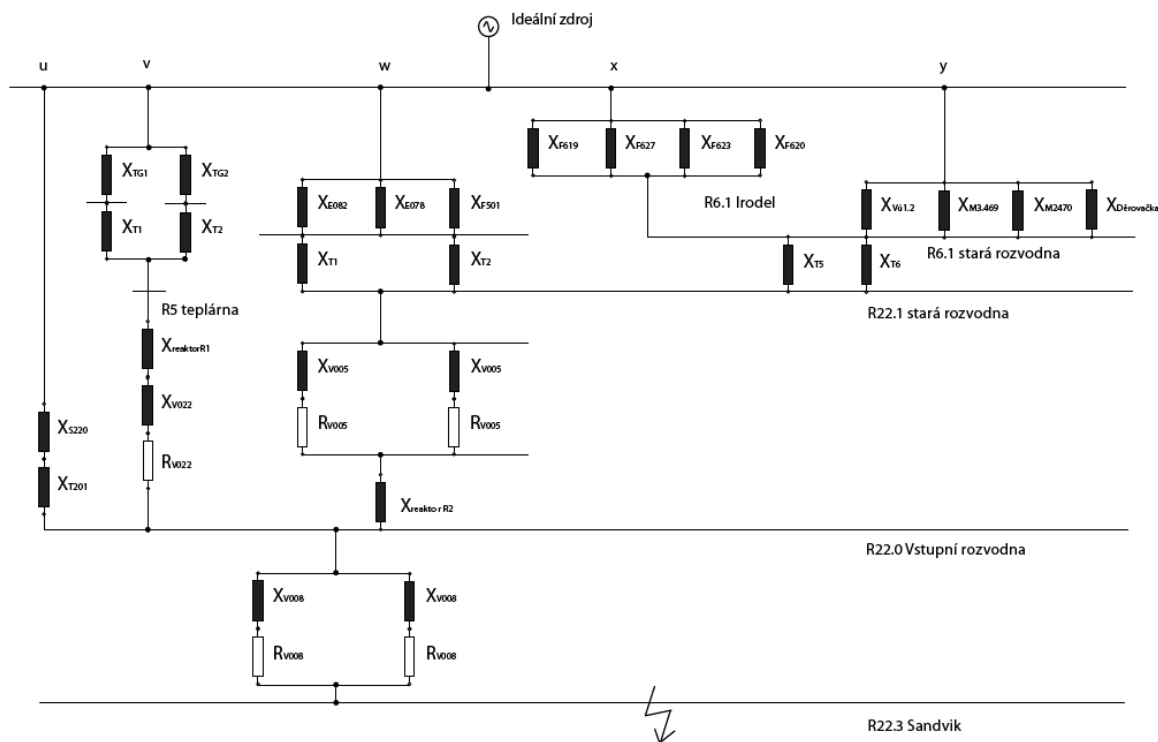
### 6.1.4 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.1-Stará rozvodna“



obrázek 25 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.1-Stará rozvodna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.1 – Stará rozvodna	2,308	6,054	230,672

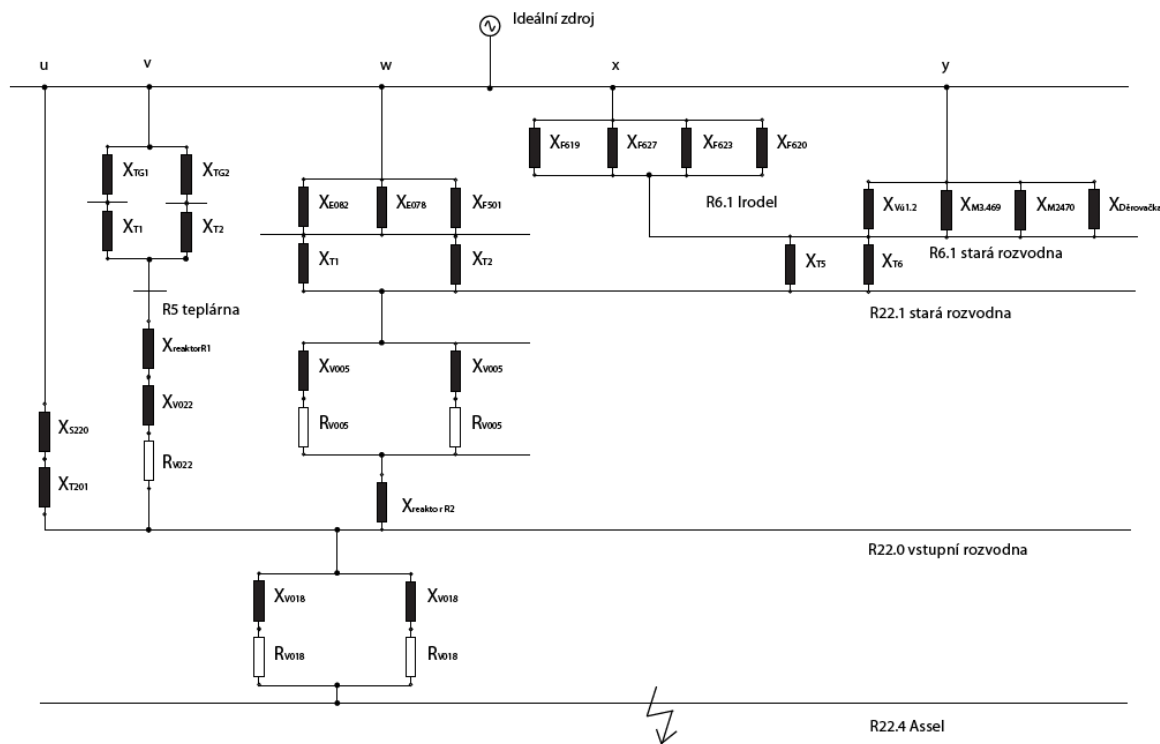
### 6.1.5 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.3-Sandvik“



**obrázek 26** Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.3-Sandvik

Rozvodna	Z <sub>k</sub>	I <sub>k3max</sub>	S <sub>k3max</sub>
	(Ω)	(kA)	(MVA)
R 22.3 – Sandvik	1,6902	8,267	314,996

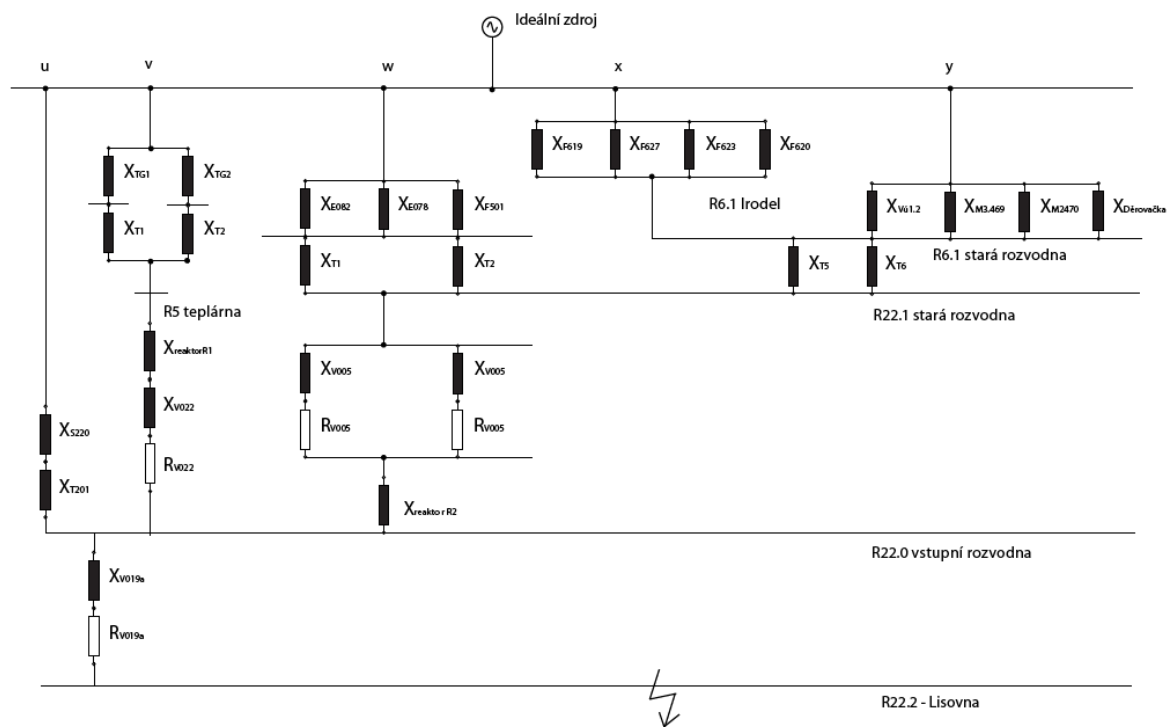
### 6.1.6 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.4-Assel“



obrázek 27 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.4-Assel

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.4 – Assel	1,6764	8,334	317,584

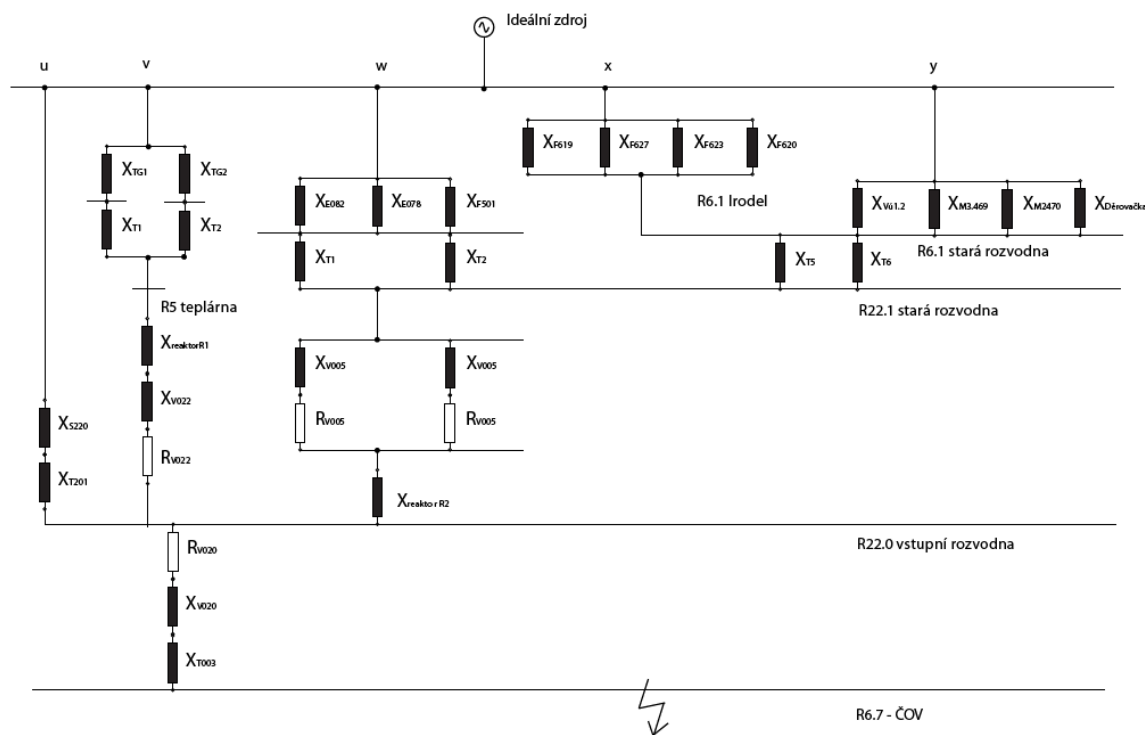
### 6.1.7 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R22.2-Lisovna



obrázek 28 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.2-Lisovna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.2 – Lisovna	1,6833	8,3	316,285

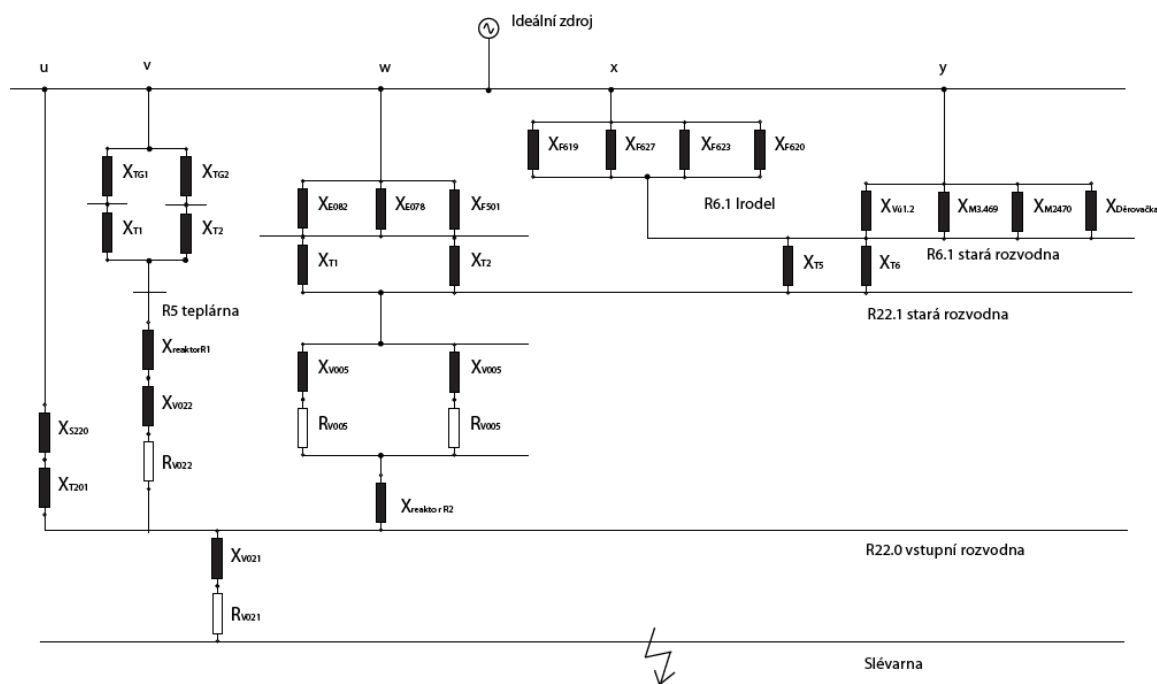
### 6.1.8 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.7-ČOV



obrázek 29 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.7-ČOV

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 6.7 – ČOV	0,5770	6,304	68,790

### 6.1.9 Maximální zkratové poměry na rozvodně „Slévárna“

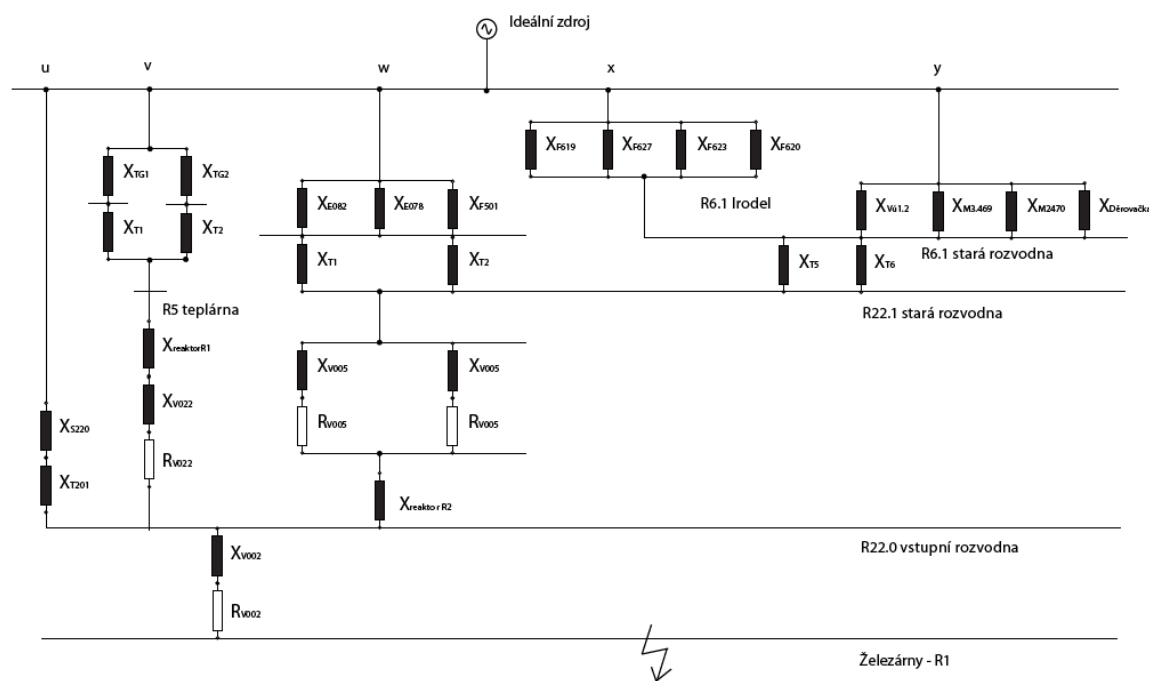


obrázek 30 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Slévárna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
Slévárna	1,8963	7,368	280,763



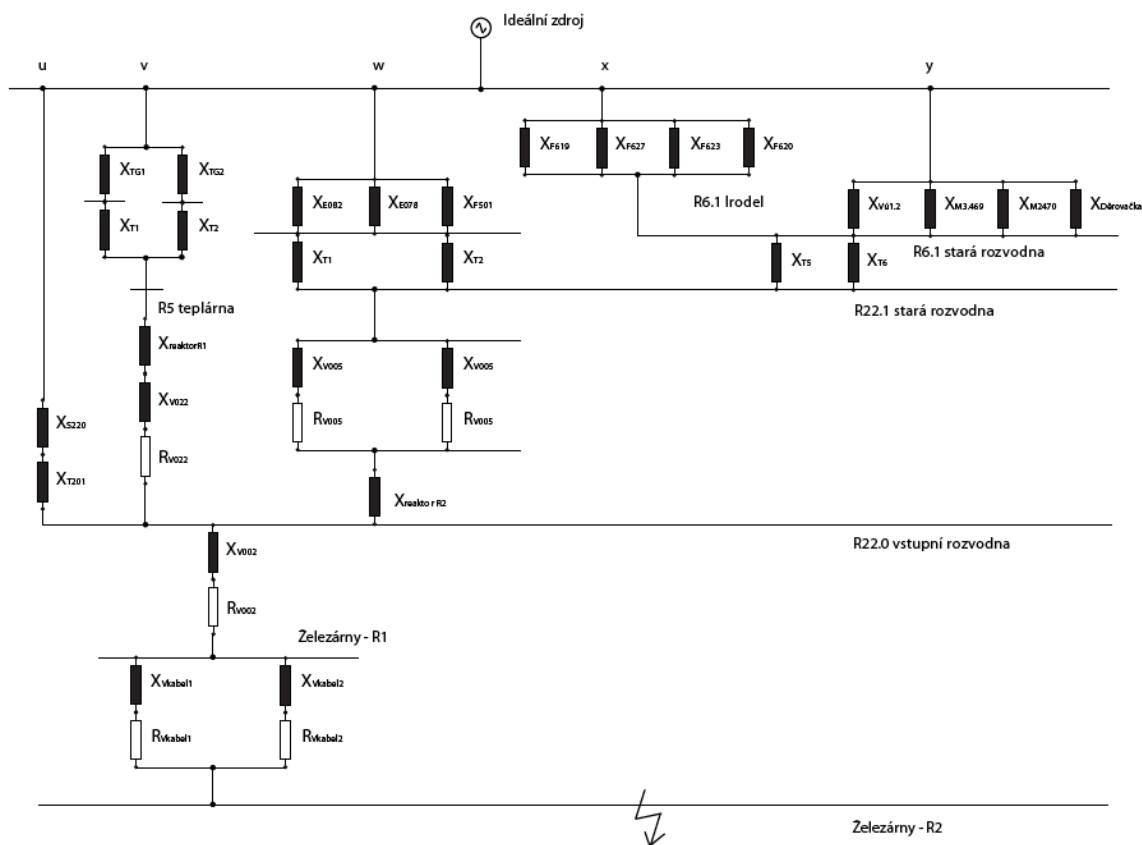
### 6.1.10 Maximální zkratové poměry na rozvodně „Železářny-R1“



obrázek 31 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Železářny-R1

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3\max}$	$S''_{k3\max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
Železářny - R1	1,911	7,311	278,592

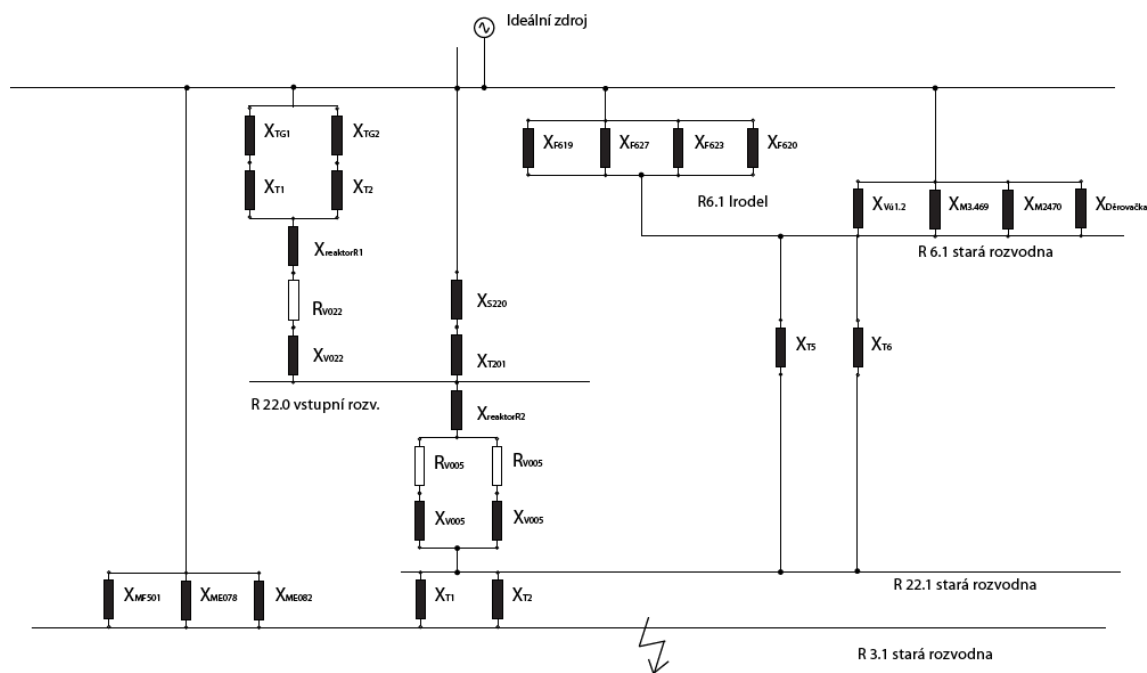
### 6.1.11 Maximální zkratové poměry na rozvodně „Železářny-R2“



obrázek 32 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Železářny-R2

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
Železářny – R2	1,9406	7,2	274,355

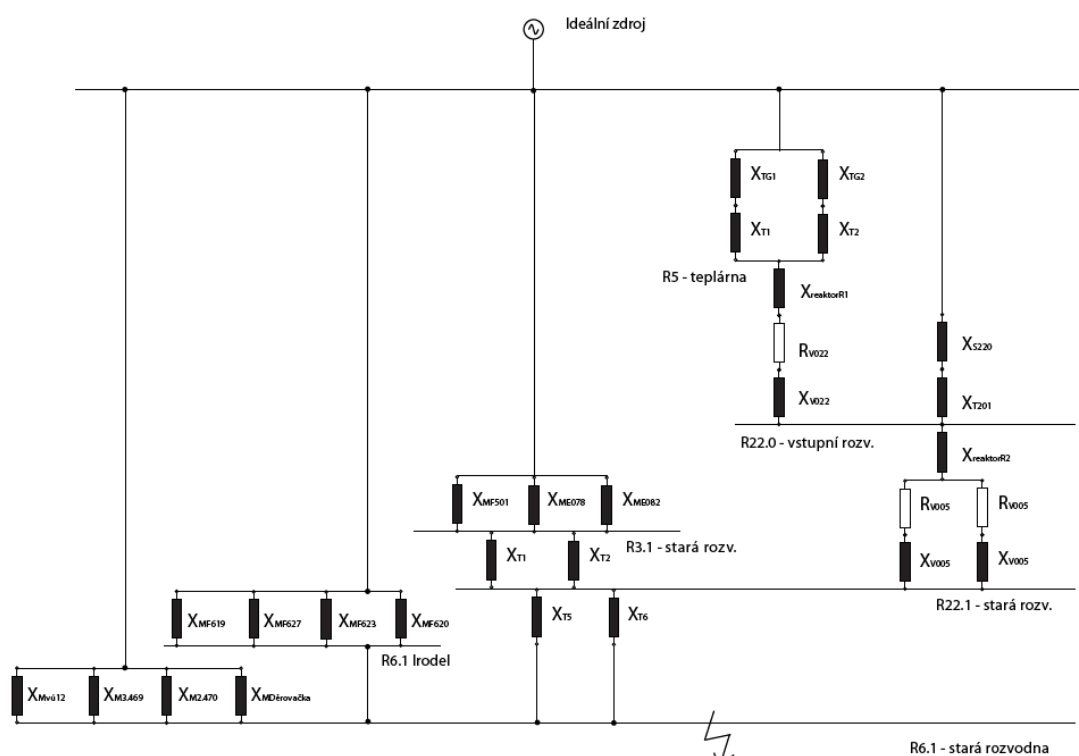
### 6.1.12 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R3.1-Stará rozvodna“



obrázek 33 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R3.1-Stará rozvodna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1054	17,255	94,141

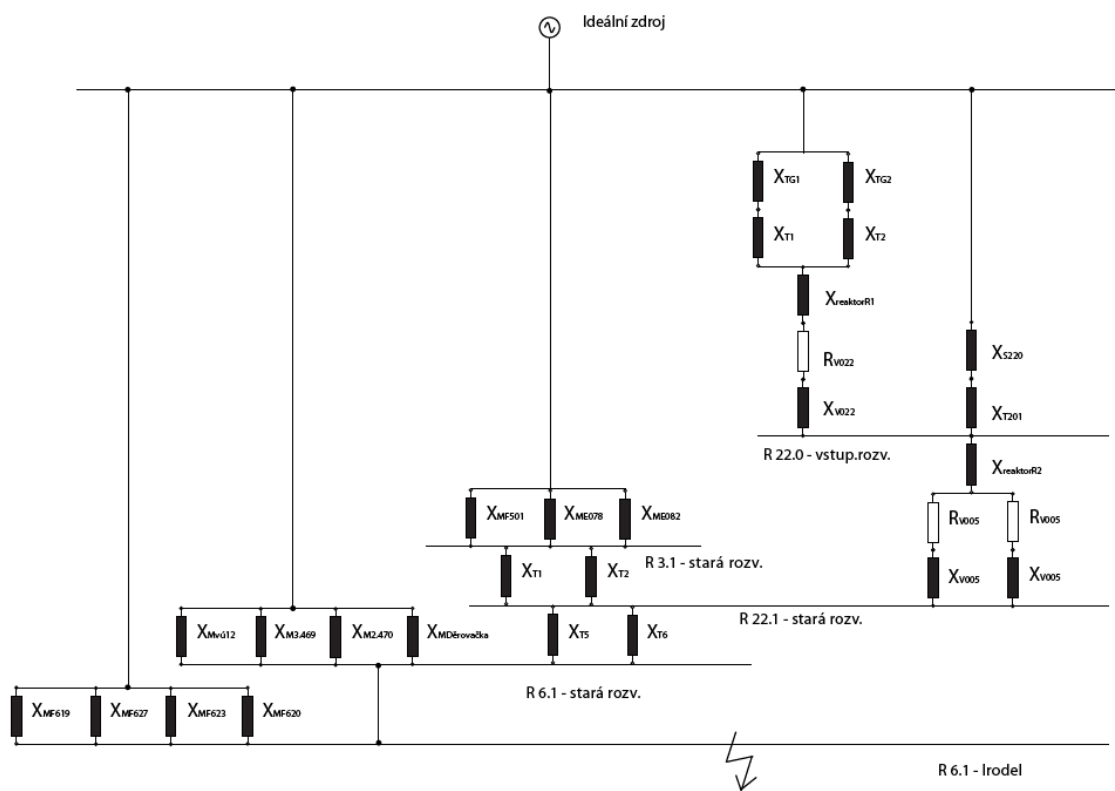
### 6.1.13 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.1-Stará rozvodna“



obrázek 34 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.1-Stará rozvodna

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2770	14,444	157,607

### 6.1.14 Maximální zkratové poměry na rozvodně „R6.1-Irodel“



obrázek 35 Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.1-Irodel

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 6.1 – Irodel	0,2770	14,444	157,607

## 6.2 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.1b

U dalších zapojení se postupuje obdobně jako v kapitole 8.1, to znamená, že z nakresleného náhradního schématu si vypočtu celkovou impedanci a následně dopočtu maximální zkratový proud a výkon. Proto jsou již uvedeny pouze vypočtené hodnoty v tabulkách.

**tabulka 1** Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.1b

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,3424	10,408	396,601
R 5 - Teplárna	1,8522	7,543	287,436
R 6 - Teplárna	1,3443	10,393	396,033
R 22.1 – Stará rozvodna	2,1894	6,382	243,176
R 22.3 – Sandvik	1,3395	10,431	397,460
R 22.4 – Assel	1,5259	9,156	348,899
R 6.1 - Irodel	0,2722	14,697	160,368
R 6.7 – ČOV	0,6054	6,609	72,112
Slévárna	1,7484	7,991	304,508
Železářny R1	1,7634	7,923	301,924
Železářny R2	1,8199	7,677	292,549
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1126	17,764	96,917
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2722	14,697	160,368
R 22.2 – Lisovna	1,5329	9,115	347,316

## 6.3 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.2a

**tabulka 2** Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.2a

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,4842	9,414	358,711
R 5 - Teplárna	2,3323	5,991	228,269
R 6 - Teplárna	2,3409	5,969	227,434
R 22.1 – Stará rozvodna	2,2754	6,140	233,976
R 22.3 – Sandvik	1,6600	8,417	320,718
R 22.4 – Assel	1,666	8,384	319,457

R 6.1 - Irodel	0,2765	14,469	157,890
R 6.7 – ČOV	0,6162	6,493	70,847
Slévárna	1,8866	7,406	282,203
Železářny R1	1,9014	7,348	280,008
Železářny R2	1,9573	7,138	272,003
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1095	18,269	99,674
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2765	14,469	157,890
R 22.2 – Lisovna	1,6735	8,349	318,143

## 6.4 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.2b

tabulka 3 Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.2b

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,3138	10,635	405,234
R 5 - Teplárna	1,3318	10,491	399,75
R 6 - Teplárna	1,3407	10,422	397,120
R 22.1 – Stará rozvodna	2,1389	6,532	248,917
R 22.3 – Sandvik	1,4720	9,492	361,691
R 22.4 – Assel	1,4976	9,329	355,5
R 6.1 - Irodel	0,2714	14,740	160,837
R 6.7 – ČOV	0,6054	6,609	72,112
Slévárna	1,7206	8,120	309,428
Železářny R1	1,7356	8,050	306,753
Železářny R2	1,7922	7,796	297,060
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1088	18,393	100,353
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2714	14,740	160,837
R 22.2 – Lisovna	1,5046	9,286	353,854

## 6.5 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.3a

tabulka 4 Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.3a

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,0092	13,845	527,546
R 5 - Teplárna	2,2414	6,234	237,535

R 6 - Teplárna	2,25	6,21	236,619
R 22.1 – Stará rozvodna	1,9345	7,222	275,212
R 22.3 – Sandvik	1,2081	11,566	440,707
R 22.4 – Assel	1,1954	11,688	445,383
R 6.1 - Irodel	0,2590	15,446	168,546
R 6.7 – ČOV	0,5912	6,767	73,843
Slévárna	1,4244	9,809	373,780
Železářny R1	1,4398	9,704	369,774
Železářny R2	1,4978	9,328	355,462
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1042	19,200	104,755
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2590	15,446	168,546
R 22.2 – Lisovna	1,2025	11,619	442,743

## 6.6 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.3b

**tabulka 5** Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.3b

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	0,9362	14,924	568,68
R 5 - Teplárna	0,9657	14,469	551,325
R 6 - Teplárna	0,9746	14,336	546,265
R 22.1 – Stará rozvodna	1,8780	7,440	283,498
R 22.3 – Sandvik	1,1364	12,294	468,48
R 22.4 – Assel	1,1235	12,437	473,895
R 6.1 - Irodel	0,2567	15,584	170,046
R 6.7 – ČOV	0,5702	7,017	76,568
Slévárna	1,3545	10,315	393,063
Železářny R1	1,3701	10,198	388,597
Železářny R2	1,4284	9,781	372,714
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1027	19,473	106,242
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2567	15,584	170,046
R 22.2 – Lisovna	1,1306	12,357	470,883



## 6.7 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.4a

tabulka 6 Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.4a

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	1,0031	13,929	530,754
R 5 - Teplárna	2,0598	6,783	258,467
R 6 - Teplárna	2,2728	6,147	234,248
R 22.1 – Stará rozvodna	1,9234	7,264	276,808
R 22.3 – Sandvik	1,1944	11,698	445,756
R 22.4 – Assel	1,894	11,747	447,635
R 6.1 - Irodel	0,2717	14,727	160,695
R 6.7 – ČOV	0,5752	6,956	75,899
Slévárna	1,4185	9,850	375,321
Železářny R1	1,4340	9,744	371,279
Železářny R2	1,4920	9,365	356,845
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1030	19,423	105,969
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2717	14,727	160,695
R 22.2 – Lisovna	1,1965	11,677	444,967

## 6.8 Maximální zkratové poměry na rozvodnách při zapojení podle varianty č.4b

tabulka 7 Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.4b

Rozvodna	$Z_k$	$I''_{k3max}$	$S''_{k3max}$
	( $\Omega$ )	(kA)	(MVA)
R 22.0 – Vstupní rozvodna	0,9222	15,151	577,313
R 5 - Teplárna	0,9303	15,018	572,28
R 6 - Teplárna	1,1924	11,718	446,503
R 22.1 – Stará rozvodna	1,8531	7,540	287,307
R 22.3 – Sandvik	1,1046	12,648	481,965
R 22.4 – Assel	1,1097	12,591	479,779
R 6.1 – Irodel	0,2564	15,608	170,309
R 6.7 – ČOV	0,5702	7,017	76,568

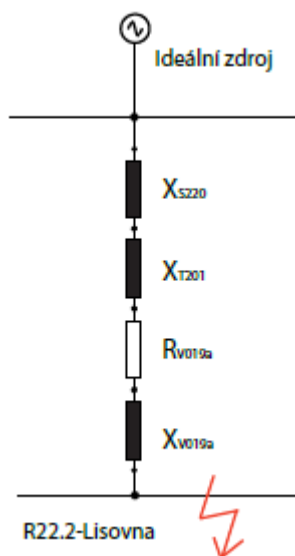
Slévárna	1,3411	10,418	396,981
Železářny R1	1,3567	10,298	392,418
Železářny R2	1,4152	9,873	376,205
R 3.1 – Stará rozvodna	0,1026	19,489	106,334
R 6.1 – Stará rozvodna	0,2564	15,608	170,309
R 22.2 – Lisovna	1,1169	12,510	476,687

## 7 MINIMÁLNÍ ZKRATOVÉ POMĚRY NA ROZVODNÁCH

### 7.1 Výpočet minimálních zkratových poměrů podle varianty zapojení č.1a

#### 7.1.1 Příklad výpočtů minimálních zkratových poměrů na rozvodně „R 22.2 - Lisovna“

U těchto výpočtů se postupuje podobně, jako u výpočtů maximálních zkratových poměrů, výpočty jsou ale podstatně jednodušší, neboť se zanedbávají příspěvky generátorů a motorů. U minimálních zkratových poměrů je napěťový činitel  $c=1$ .



obrázek 36 Náhradní schéma minimálních zkratových poměrů pro zkrat na rozvodně

Nadřazená soustava 220kV

$$X_{Smin} = \frac{c \cdot U_{nS}^2}{S''_{k3min}} = \frac{c \cdot U_{nS}^2}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3min}} = \frac{1 \cdot 220^2}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10} = 12,702 \, \Omega$$

Reaktanci nadřazené soustavy 220kV přepočítám hladinu napětí v místě zkratu, v tomto případě je zkrat na rozvodně „R22.0 Vstupní rozvodna“, na které je napětí 22kV.

$$X_{Smin(22kV)} = X_{Smin} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 12,702 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 0,12702 \quad \Omega \dots\dots Z_{Smin(22kV)} = j0,127\Omega$$

Nyní postupným i úpravami zjednodušíme náhradní schéma a vypočteme výslednou impedanci obvodu.

Opět musíme dbát na to, aby při sčítání jednotlivých impedancí tato impedance byla přepočtena na hladinu napětí v místě zkratu, v tomto případě na 22kV.

#### Reaktance transformátoru T201

$$X_{T201} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{11 \cdot 220^2}{100 \cdot 25} = 212,96 \Omega$$

#### Přepočet na hladinu napětí 22kV

$$X_{T201(22kV)} = X_{T201} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 212,96 \cdot \left( \frac{22}{220} \right)^2 = 2,130 \quad \Omega \dots\dots Z_{T201(22kV)} = j2,130\Omega$$

#### Impedance kabelového vedení 019a

$$Z_{V019a} = (R_{V022} + X_{V022}) \cdot l = (0,129 + j0,1231) \cdot 1,45 = 0,1871 + j0,1785\Omega$$

#### Celková impedance zkratového obvodu

$$Z_{CELKOVÁ} = Z_{Smin(22kV)} + Z_{T201(22kV)} + Z_{V019a} = j0,127 + j2,13 + 0,1871 + j0,1785 = 0,1871 + j2,4355\Omega$$

#### Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu

$$|Z_{CELKOVÉ}| = \sqrt{R_{CELKOVÉ}^2 + X_{CELKOVÉ}^2} = \sqrt{0,1871^2 + j2,4355^2} = 2,4427\Omega$$

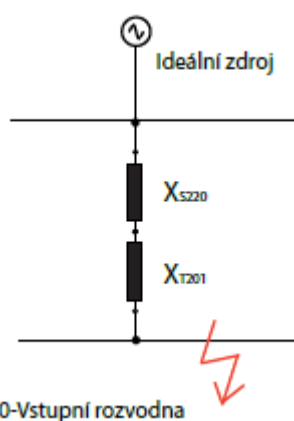
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3min} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{CELKOVÉ}|} = \frac{1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 2,4427} = 5,2 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3min} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3max} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 5,2 = 198,141 \text{ MVA}$$

### 7.1.2 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.0 - Vstupní rozvodna“



obrázek 37 Náhradní schéma R22.0 - Vstupní rozvodna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

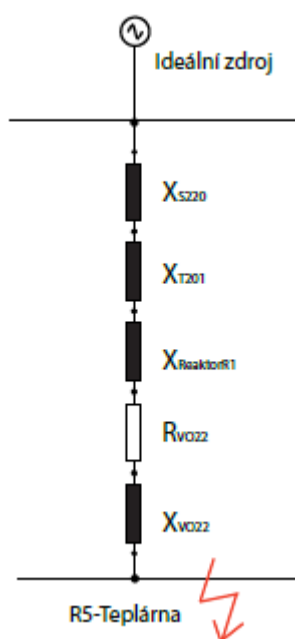
$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,257\Omega$$

**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 5,628 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 214,44 \text{ MVA}$$

**7.1.3 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R5 - Teplárna“**

obrázek 38 Náhradní schéma R5 - Teplárna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 5,376\Omega$$

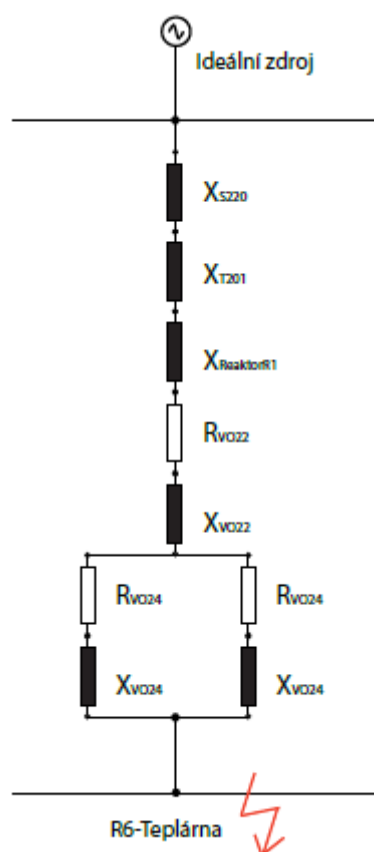
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 2,363 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 90,031 \text{ MVA}$$

#### 7.1.4 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6 - Teplárna“



obrázek 39 Náhradní schéma R6 - Teplárna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 5,38 \Omega$$

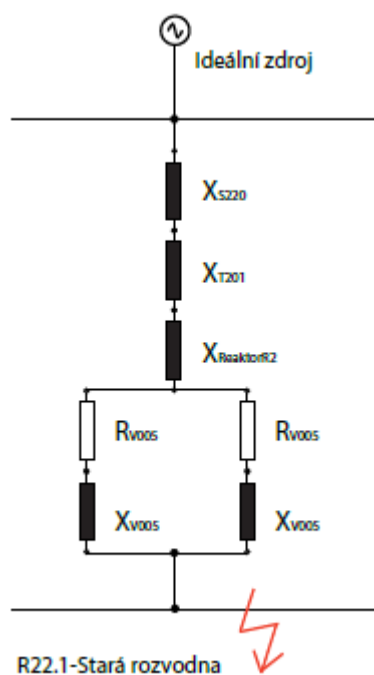
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 2,361 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 89,957 \text{ MVA}$$

### 7.1.5 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.1 – Stará rozvodna“



*obrázek 40* Náhradní schéma R22.1 – Stará rozvodna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 3,619 \Omega$$

**Minimální zkratový proud**

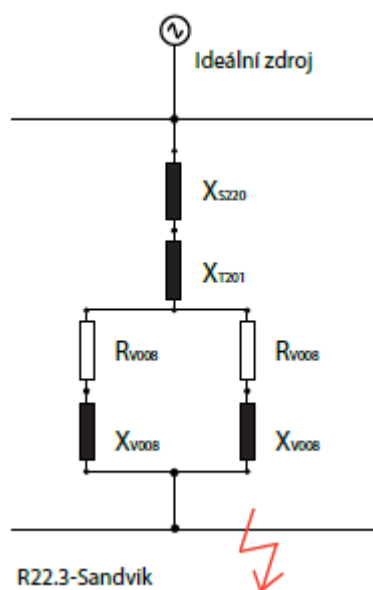
$$I''_{k3\min} = 3,51 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 133,732 \text{ MVA}$$



### 7.1.6 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.3 - Sandvik“



obrázek 41 Náhradní schéma R22.3 - Sandvik

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,3513\Omega$$

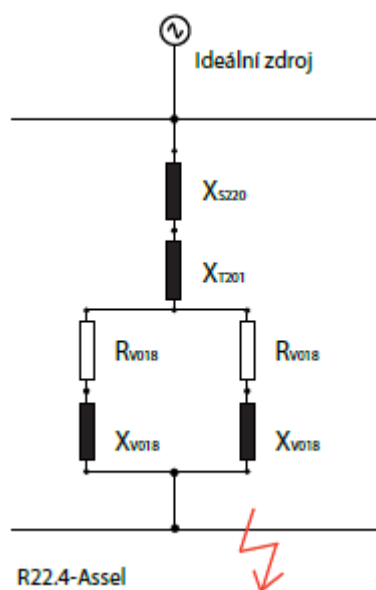
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 5,402 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 205,844 \text{ MVA}$$

### 7.1.7 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R22.4 - Assel“



obrázek 42 Náhradní schéma R22.4 - Assel

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,345 \Omega$$

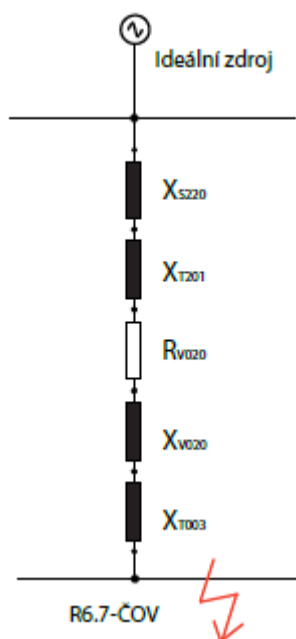
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 5,417 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 206,4 \text{ MVA}$$

### 7.1.8 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.7 - ČOV“



obrázek 43 Náhradní schéma R6.7 - ČOV

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 0,629\Omega$$

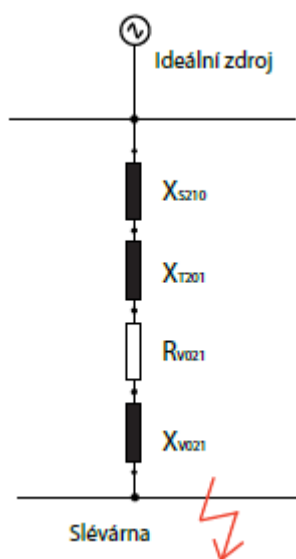
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 5,508 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 57,242 \text{ MVA}$$

### 7.1.9 Minimální zkratové poměry na rozvodně „Slévárna“



obrázek 44 Náhradní schéma Slévárna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,648 \Omega$$

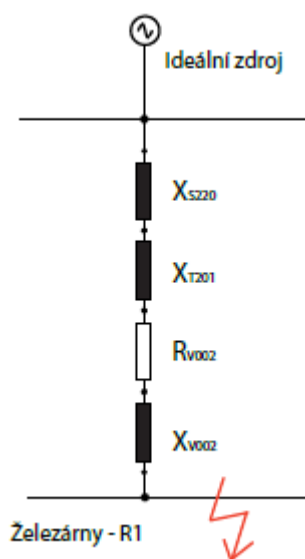
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 4,798 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 182,814 \text{ MVA}$$

### 7.1.10 Minimální zkratové poměry na rozvodně „Železářny - R1“



obrázek 45 Náhradní schéma Železářny - R1

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,662 \Omega$$

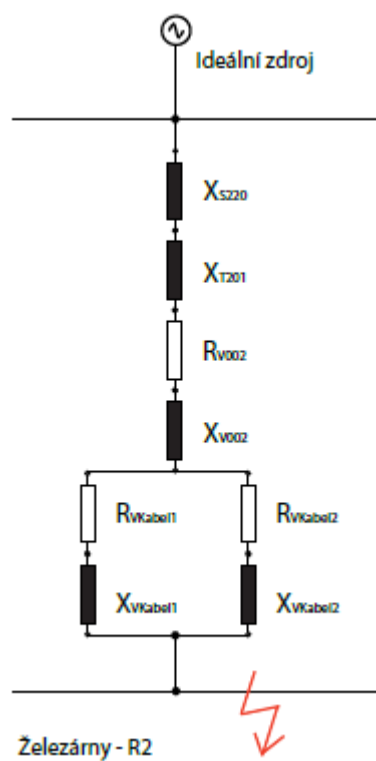
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 4,772 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 181,835 \text{ MVA}$$

### 7.1.11 Minimální zkratové poměry na rozvodně „Železářny – R2“



obrázek 46 Náhradní schéma Železářny – R2

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 2,32\Omega$$

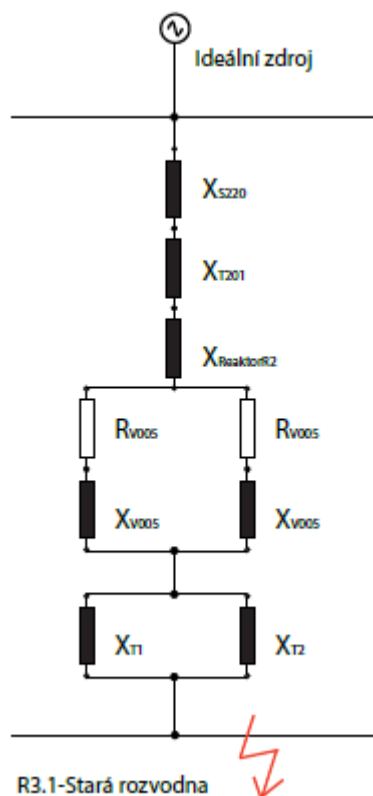
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 5,475 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 208,638 \text{ MVA}$$

### 7.1.12 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R3.1 – Stará rozvodna“



obrázek 47 Náhradní schéma R3.1 – Stará rozvodna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 0,1251 \Omega$$

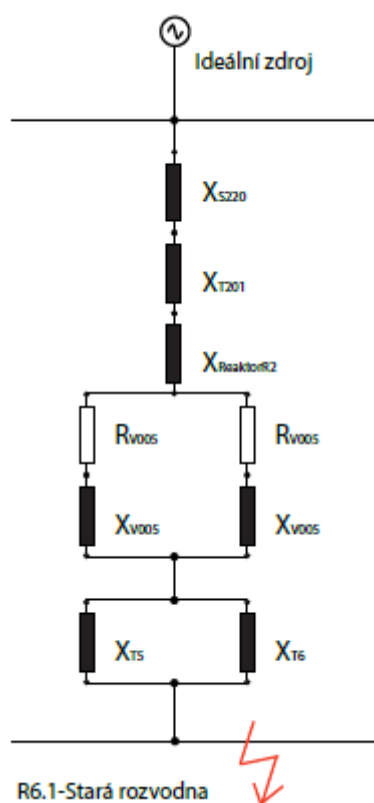
**Minimální zkratový proud**

$$I''_{k3\min} = 13,845 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 71,939 \text{ MVA}$$

### 7.1.13 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.1 – Stará rozvodna“



obrázek 48 Náhradní schéma R6.1 – Stará rozvodna

**Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu**

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 0,4824 \Omega$$

**Minimální zkratový proud**

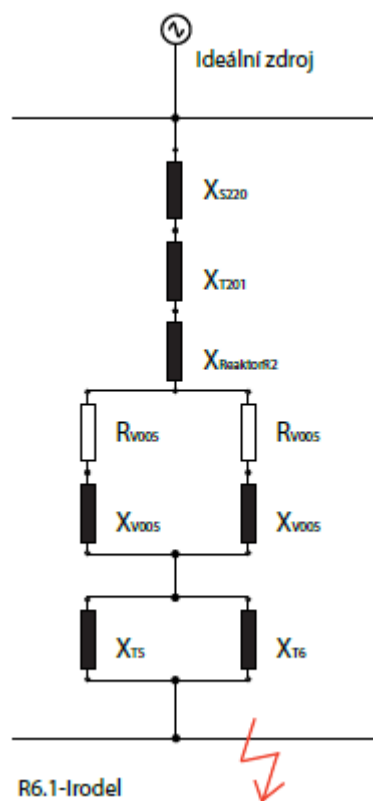
$$I''_{k3\min} = 7,181 \text{ kA}$$

**Minimální zkratový výkon**

$$S''_{k3\min} = 74,623 \text{ MVA}$$



### 7.1.14 Minimální zkratové poměry na rozvodně „R6.1 - Irodel“



obrázek 49 Náhradní schéma R6.1 - Irodel

#### Absolutní hodnota celkové impedance zkratového obvodu

$$|Z_{\text{CELKOVÉ}}| = 0,4824\Omega$$

#### Minimální zkratový proud

$$I''_{k3\min} = 7,181\text{ kA}$$

#### Minimální zkratový výkon

$$S''_{k3\min} = 74,623\text{ MVA}$$

Minimální zkratový výkon v tomto případě vyšel stejný jako u rozvodny R6.1-Stará rozvodna, protože impedance kabelu mezi těmito rozvodnami byla zanedbána.

## 8 KONTROLA ZAŘÍZENÍ Z HLEDISKA ÚČINKŮ ZKRATOVÉHO PROUDU

### 8.1 Kontrola kabelů na dovolené oteplení při zkratu

Kontrola na dovolené oteplení při zkratu se provádí z důvodů nastavení ochran chránící tato elektrická zařízení. Ochrana musí vypnout každé vedení dříve, než dojde k přehřátí jádra vodiče nad dovolenou maximální mez. Doba vypnutí kabelového vedení musí být menší, než by došlo k tepelnému poškození izolace kabelu (u volných vedení prověšení vodičů).

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud je efektivní hodnota proudu, které má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění.

Součinitel **m** pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu je **0,004** (hodnota odečtena z grafu normy ČSN EN 60909-0)

Součinitel **n** pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu je **1** (hodnota odečtena z grafu normy ČSN EN 60909-0)

**Koeficient k pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu:**

$$k = \sqrt{m + n} = \sqrt{0,04 + 1} = 1,02$$

**Ekvivalentní oteplovací proud:**

$$I_{th} = I''_k \cdot k(A)$$

**Maximální čas odepnutí zkratu ( čas ochrany + čas vypínače):**

$$t_{\max} = \left( \frac{K \cdot S}{I_{\text{th}}} \right)^2 (s)$$

Tento koeficient **K** zjistíme podle typu použitého vn kabelu podle tabulek.

**tabulka 8** Koeficient *K* pro určení min. průřezu vodičů podle oteplení při zkratu

Druh izolace	Napětí	Značka	K		
			Cu	Al	Fe
	(kV)	(-)	(-)	(-)	(-)
Napuštěný papír	do 6 kV	N	127	84	-
	do 10 kV		130	86	-
	22 kV		108	71	-
Polyvinylchlorid	do 10 kV	Y	113	75	-
Sítový polyetylén	do 30 kV	X	141	93	-
Holé vodiče mechanicky nezatížené			152	107	-
Holé vodiče mechanicky zatížené			119	84	-
Ocel mechanicky nezatížená			-	-	59
Ocel mechanicky zatížená			-	-	53

## 8.2 Příklad výpočtů

Příklad výpočtu pro kabel s označením „005“, napojený z rozvodny „R22.0-Vstupní rozvodna“ do rozvodny „R22.1-Stará rozvodna“

**Koeficient k pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu:**

$$k = \sqrt{m + n} = \sqrt{0,04 + 1} = 1,02$$

**Ekvivalentní oteplovací proud:**

$$I_{\text{th}} = I''_k \cdot k = 15151 \cdot 1,02 = 15454(\text{A})$$

**Maximální čas odepnutí zkratu ( čas ochrany + čas vypínače):**

Pro kabel typu ANKTOYP je koeficient  $K=71$

Pro dva paralelní vodiče:  $A = 2 \cdot 240 = 480(\text{mm}^2)$

$$t_{\max} = \left( \frac{K \cdot A}{I_{\text{th}}} \right)^2 \left( \frac{71 \cdot 480}{15454} \right)^2 = 4,87(\text{s})$$

### 8.2.1 Vypočtené hodnoty

**tabulka 9** Hodnoty ekvivalentního proudu a max. čas odepnutí zkrat. proudu

<b>R 22.0 -Vstupní roz.</b>	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b><math>I_{\text{th}}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>t_{\max}</math></b>
<b>do</b>		<b>(<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.3-Sandvik	008	480	2	15451	71	4,87
R22.4-Assel	018	480	2	15451	71	4,87
T003	020	240	1	15451	71	1,22
R5-teplárna	022	240	1	15451	71	1,22
R22.2-Lisovna	019a	240	1	15451	71	1,22
Železářny- R1	002	240	1	15451	71	1,22
Slévárna	021	240	1	15451	71	1,22
R22.1stará roz.	005	480	2	15451	71	4,87
<b>R 22.1 – Stará roz.</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b><math>I_{\text{th}}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>t_{\max}</math></b>
<b>do</b>		<b>(<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.0 Vst. roz.	005	480	2	7689	71	19,65
<b>R 22.2 – Lisovna</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b><math>I_{\text{th}}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>t_{\max}</math></b>
<b>do</b>		<b>(<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.0-Vstp. r.	019a	240	1	12758	71	1,78
<b>R 22.3 – Sandvik</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b><math>I_{\text{th}}</math></b>	<b>K</b>	<b><math>t_{\max}</math></b>
<b>do</b>		<b>(<math>\text{mm}^2</math>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.0 Vst. roz.	008	480	2	12898	71	6,98

<b>R 22.4 – Assel</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b>I<sub>th</sub></b>	<b>K</b>	<b>t<sub>max</sub></b>
<b>do</b>		<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.0 Vst. roz.	018	480	2	12840	71	7,04
<b>R 5. – Teplárna</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b>I<sub>th</sub></b>	<b>K</b>	<b>t<sub>max</sub></b>
<b>do</b>		<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R6 - Teplárna	024	480	2	15315	71	4,95
R22.0-Vstp. r.	022	240	1	15315	71	1,24
<b>R 6 – Teplárna</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b>I<sub>th</sub></b>	<b>K</b>	<b>t<sub>max</sub></b>
<b>do</b>		<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R5 - Teplárna	024	480	2	11950	71	8,13
<b>Slévárna</b>						
	<b>ozn.</b>	<b>průřez</b>	<b>počet</b>	<b>I<sub>th</sub></b>	<b>K</b>	<b>t<sub>max</sub></b>
<b>do</b>		<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(-)</b>	<b>(A)</b>	<b>(-)</b>	<b>(s)</b>
R22.0-Vstp. roz.	021	240	1	10624	71	2,57

## ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce byly výpočty zkratových poměrů na všech rozvodnách 22kV, 6kV, 3kV a to v osmi různých variantách zapojení sítě.

V prvních třech kapitolách se diplomová práce věnuje teorii v oblasti problematice napájení průmyslových objektů, popisů zkratů a jejich způsobů výpočtů dle normy ČSN EN 60909.

Zbývající kapitoly se již věnují samotné praktické části diplomové práce. Jsou zde uvedeny vztahy pro výpočty a náhradní schémata pro tyto výpočty, které nejsou vzhledem k rozsahu velikosti práce rozepsány a uvedeny ve všech variantách, pouze u varianty „1a“ zapojení při zkratu na rozvodně „R22.0-Vstupní rozvodna“. U dalších výpočtů jsou uvedeny konečné výsledky v tabulkách.

Výpočty maximálních zkratových poměrů se dělají z důvodů dimenzování vedení, aby při průtoku zkratového proudu nedošlo k jeho nevratné destrukci. Naopak výpočty minimálních zkratových poměrů počítáme proto, abychom podle těchto hodnot správně nastavili ochrany chránící elektrické zařízení, zapojené v obvodu vedení. Ochrana musí bezpečně a včas zareagovat i při průchodu minimálního zkratového proudu. Z těchto důvodů bylo posledním úkolem zkontrolovat oteplení vn kabelů při průchodu těchto zkratových proudů.

Z vypočtených hodnot uvedených v tabulkách je zřejmé, že hodnoty maximálních počátečních rázových zkratových proudů a výkonů jsou na všech rozvodnách vyšší u varianty zapojení 4b, to znamená v obvodě, ve kterém je zapojený generátor TG1 s výkonem 25MVA a z obvodu je vyřazený reaktor R1. Z této varianty jsem pro výpočet ekvivalentního oteplovací proudu proto použil vypočtené hodnoty maximálních zkratových poměrů.

Při kontrole zařízení z hlediska účinků průchodu zkratového proudu jsem došel k vypočteným závěrům, že maximální čas, do které musí ochrany bezpečně zareagovat aby nedošlo k překročení dovoleného oteplení kabelů, je 19,65 sekund u kabelového vedení z rozvodny R22.1 – Stará rozvodna do rozvodny R22.0 – Vstupní rozvodna. Minimální čas je 1,22 sekundy u více kabelových vedení. Podle těchto vypočtených hodnot se nastavují časy, do kterých musí ochrana bezpečně zareagovat, aby nedošlo ke zničení části elektrického zařízení.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Fencel F.: *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*, ČVUT, Praha, 2003
- [2] Hradílek, Z., *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*, 1. vydání, Skripta VŠB-TU, Ostrava 2008
- [3] Pauza, J., Krychtalek, Z., *Elektrické stanice*, SNTL, Praha, 1989
- [4] Martin Mach, Diplomová práce: *Řešení zkratových poměrů v průmyslovém objektu*, VŠB-TU, 2009
- [5] Josef Heřman a kolektiv, *Příručka silnoproudé elektrotechniky*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., Praha 1, v roce 1986
- [6] Z.Trojánek, J.Hájek, P.Kvasnica, *Přechodové jevy v elektrizačních soustavách*, SNTL/ALFA – Nakladatelství technické literatury, n.p., Praha 1 spolu s n.p. Alfa, vydavatel'stvo technické a ekonomické literatury, Bratislava, v roce 1987
- [7] Norma ČSN EN 60909 – 0: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách.
- [8] J. Vladař, J. Zelenka, *Elektrotechnika a silnoproudá elektronika*, SNTL/ALFA - Nakladatelství technické literatury, n.p., Praha 1 spolu s n.p. Alfa, vydavatel'stvo technické a ekonomické literatury, Bratislava, v roce 1986
- [9] R. Mravec, *Elektrické stroje a přístroje*, Vydavatelství technické a ekonomické literatury, Bratislava 1976
- [10] Hradílek, Z.: *Elektroenergetika II.* Ostrava: VŠB Ostrava, 1993.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>obrázek 1</b> Druhy zkratu a) trojfázový zkrat b) trojfázový zemní zkrat c) dvoufázový zemní zkrat e) jednofázový zkrat f) zemní spojení (nepovažuje se za zkrat).....	21
<b>obrázek 2</b> Průběh zkratového proudu: a) elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou, b) elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou	22
<b>obrázek 3</b> Rozdělení zdrojů pracujících do zkratu a) nerozdělené zdroje, b) přípojnice R 2 rozděleny na úseky, c) výkon transformátorů T1, T2 rozdělen na samostatné systémy přípojníc WA, WB.....	25
<b>obrázek 4</b> Způsoby zapojení reaktorů: a) reaktor v přívodu, b) reaktory ve vývodech,.....	26
<b>obrázek 5</b> Zapojení s T201, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	31
<b>obrázek 6</b> Zapojení s T201, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	32
<b>obrázek 7</b> Zapojení s T201, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	34
<b>obrázek 8</b> Zapojení s T201, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	35
<b>obrázek 9</b> Zapojení s T202, TG1=15MVA, s reaktorem R1 .....	36
<b>obrázek 10</b> Zapojení s T202, TG1=15MVA, bez reaktoru R1 .....	37
<b>obrázek 11</b> Zapojení s T202, TG1=25MVA, s reaktorem R1 .....	39
<b>obrázek 12</b> Zapojení s T202, TG1=25MVA, bez reaktoru R1 .....	40
<b>obrázek 13</b> Náhradní schéma R6.1-Stará rozvodna.....	42
<b>obrázek 14</b> Náhradní schéma R6.-Irodel .....	44
<b>obrázek 15</b> Náhradní schéma R3.1-Stará rozvodna.....	45
<b>obrázek 16</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.0 Vstupní rozvodna	46
<b>obrázek 17</b> Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy – $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D$ ...	52
<b>obrázek 18</b> Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy – $Z_E, Z_F$ .....	53
<b>obrázek 19</b> Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy – $Z_G, Z_H$ .....	54
<b>obrázek 20</b> Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy – $Z_I$ .....	55
<b>obrázek 21</b> Postupné zjednodušování náhradního schématu soustavy – $Z_{CELKOVÉ}$ .....	55
<b>obrázek 22</b> Konečné zjednodušení náhradního schématu soustavy .....	56
<b>obrázek 23</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R5 -Teplárna .....	57
<b>obrázek 24</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6 –Teplárna.....	58
<b>obrázek 25</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.1-Stará rozvodna.....	59
<b>obrázek 26</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.3-Sandvik.....	60
<b>obrázek 27</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.4-Assel.....	61
<b>obrázek 28</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R22.2-Lisovna.....	62
<b>obrázek 29</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.7-ČOV .....	63
<b>obrázek 30</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Slévárna.....	64
<b>obrázek 31</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Železářny-R1.....	65
<b>obrázek 32</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně Železářny-R2.....	66
<b>obrázek 33</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R3.1-Stará rozvodna.....	67
<b>obrázek 34</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.1-Stará rozvodna.....	68
<b>obrázek 35</b> Náhradní schéma soustavy při zkratu na rozvodně R6.1-Irodel .....	69
<b>obrázek 36</b> Náhradní schéma minimálních zkratových poměrů pro zkrat na rozvodně....	75
<b>obrázek 37</b> Náhradní schéma R22.0 - Vstupní rozvodna .....	77
<b>obrázek 38</b> Náhradní schéma R5 - Teplárna.....	78
<b>obrázek 39</b> Náhradní schéma R6 - Teplárna.....	79



<b>obrázek 40</b>	Náhradní schéma R22.1 – Stará rozvodna .....	80
<b>obrázek 41</b>	Náhradní schéma R22.3 - Sandvik .....	81
<b>obrázek 42</b>	Náhradní schéma R22.4 - Assel .....	82
<b>obrázek 43</b>	Náhradní schéma R6.7 - ČOV .....	83
<b>obrázek 44</b>	Náhradní schéma Slévárna .....	84
<b>obrázek 45</b>	Náhradní schéma Železářny - R1 .....	85
<b>obrázek 46</b>	Náhradní schéma Železářny – R2 .....	86
<b>obrázek 47</b>	Náhradní schéma R3.1 – Stará rozvodna .....	87
<b>obrázek 48</b>	Náhradní schéma R6.1 – Stará rozvodna .....	88
<b>obrázek 49</b>	Náhradní schéma R6.1 - Irodel .....	89

## SEZNAM TABULEK

<b>tabulka 1</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.1b</i>	70
<b>tabulka 2</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.2a</i>	70
<b>tabulka 3</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.2b</i>	71
<b>tabulka 4</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.3a</i>	71
<b>tabulka 5</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.3b</i>	72
<b>tabulka 6</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.4a</i>	73
<b>tabulka 7</b>	<i>Hodnoty při zkratu při zapojení varianty č.4b</i>	73
<b>tabulka 8</b>	<i>Koeficient K pro určení min. průřezu vodičů podle oteplení při zkratu</i>	91
<b>tabulka 9</b>	<i>Hodnoty ekvivalentního proudu a max. čas odepnutí zkrat. proudu</i>	92

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- A) Zkratový výkon nadřazené soustavy**
- B) Databáze transformátorů**
- C) Databáze generátorů**
- D) Databáze reaktorů**
- E) Databáze motorů**
- F) Databáze kabelů**